

repository.ub.ac.id

**PENGARUH PENAMBAHAN *FRESH AIR*
TERHADAP KARAKTERISTIK PENGERINGAN LABU KUNING
(*CUCURBITA MOSCHATA*) DENGAN MENGGUNAKAN
*MICROWAVE VACUUM DRYING***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RESTU FIRMANSYAH
NIM. 145060200111014

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2018

JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH PENAMBAHAN *FRESH AIR* TERHADAP KARAKTERISTIK
PENGERINGAN LABU KUNING (*CUCURBITA MOSCHATA*) DENGAN
MENGUNAKAN *MICROWAVE VACUUM DRYING*

Nama Mahasiswa : Restu Firmansyah
NIM : 145060200111014
Program Studi : Teknik Mesin
Minat (bila ada) : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING :

Pembimbing I : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., MT.
Pembimbing II : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
Dosen Penguji II : Ir. Erwin Sulisty, MT
Dosen Penguji III : Khairul Anam, ST., M.Sc.

Tanggal Ujian : 2 Juli 2018
SK Penguji : 1310/UN10.F07/SK/2018





KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, “Pengaruh Penambahan *Fresh Air* Terhadap Karakteristik Pengeringan Labu Kuning (*Cucurbita moschata*) dengan Menggunakan *Microwave Vacuum Drying*” dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu, membimbing, memberi petunjuk, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini:

1. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi dalam penyusunan skripsi.
2. Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran administrasi.
3. Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Konversi Energi yang telah membantu kelancaran administrasi.
4. Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing kegiatan akademik dari awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan.
5. Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing I dan Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah membantu memberikan ilmu, kritik, saran serta motivasi dalam penyusunan skripsi.
6. Seluruh Dosen Pengajar, Staf Administrasi, dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya untuk mendukung penyusunan skripsi ini.
7. Kedua orang tua tercinta, Nana Supriyatna dan Eeng Elina , serta adikku Muhamad Rafi. Terimakasih tak terhingga atas seluruh doa, nasihat, inspirasi, dan dukungan yang telah diberikan.
8. Teman-teman kelompok skripsi Oldy Fahlovvi dan Gheny Ahmad Jibrily yang telah bekerja sama dengan baik dalam penyusunan skripsi.

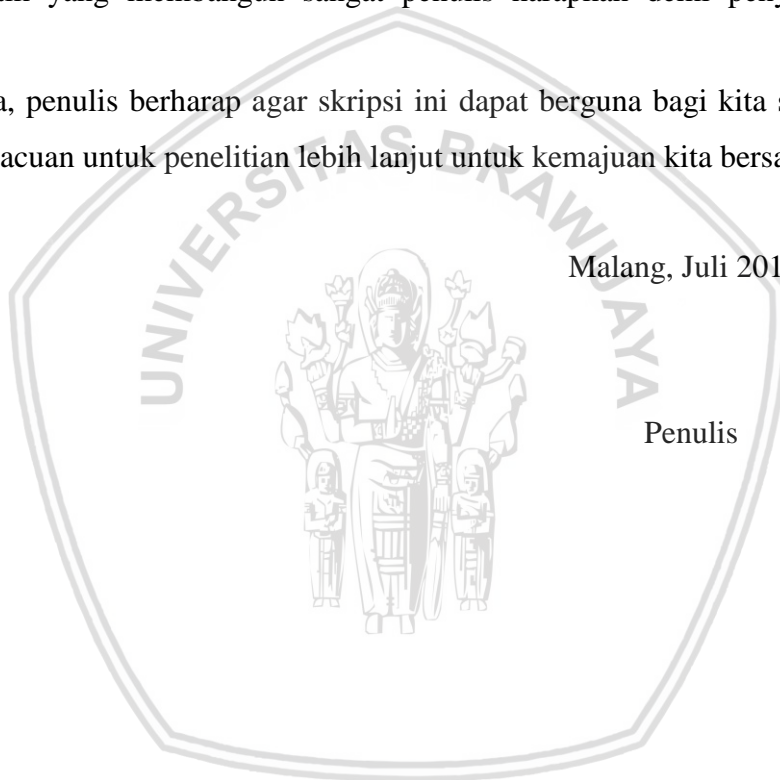
9. Keluarga Besar Laboratorium Riset, Aerokreasi M'14, Arda, Alif, Amir, Fadlur, Gheny, Ikmal, Ira, Ryandanu dan Topan yang telah sama-sama berjuang mengikuti lomba Aerokreasi.
10. Teman-teman seperjuangan Mesin 2014, terimakasih atas solidaritas, kebersamaan, dan semua memori yang tak akan pernah terlupakan.
11. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi penyusunan skripsi dengan baik.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.1.1 <i>Ultrasonic Chill Drying</i> dengan penambahan <i>Fresh Air</i>	5
2.1.2 <i>Microwave Vacuum Drying</i>	5
2.2 Pengertian Pengeringan	6
2.3 Jenis-Jenis Pengeringan.....	7
2.4 Mekanisme Pengeringan.....	7
2.5 Faktor Pengeringan.....	9
2.5.1 Luas Permukaan.....	9
2.5.2 Suhu	9
2.5.3 Kecepatan Pergerakan Udara.....	10
2.5.4 Kelembaban Udara	10
2.5.5 Tekanan Atmosfer	11
2.5.6 Penguapan Air	11
2.5.7 Lama Pengeringan	11
2.6 Karakteristik Penguapan Air.....	11
2.6.1 Kadar Air	11
2.6.2 Laju Pengeringan Air.....	12
2.7 Labu Kuning	13
2.8 Komponen Mesin Pendingin	14

2.9 Pompa Vakum	14
2.10 <i>Fresh Air</i>	16
2.11 <i>Flowmeter</i>	16
2.12 Hipotesis	16
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Metode Penelitian	17
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.3 Variabel Penelitian.....	17
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	20
3.4.1 Alat dan Skema Penelitian.....	20
3.4.2 Alat dan Bahan.....	20
3.5 Prosedur Penelitian	21
3.5.1 <i>Microwave Vacuum Drying</i> dengan <i>Fresh Air</i>	22
3.5.2 <i>Microwave Vacuum Drying</i> tanpa <i>Fresh Air</i>	22
3.6 Diagram Alir Penelitian	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pengolahan Data dan Analisis	25
4.1.1 Data Hasil Penelitian.....	25
4.1.2 Pengolahan Data	25
4.2 Data Hasil Perhitungan	26
4.3 Grafik dan Pembahasan	30
4.3.1 Analisis Hubungan Massa tiap Variasi terhadap Waktu.....	30
4.3.2 Analisis Hubungan Laju Pengeringan tiap Variasi terhadap Waktu.....	31
4.3.3 Analisis Hubungan Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu.....	33
4.3.4 Analisis Hubungan Distribusi Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu	34
4.3.5 Perbandingan Ukuran dan Warna Spesimen Hasil Pengeringan tiap Variasi.....	36
BAB V PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kandungan Gizi Daging Buah Labu Kuning (100gr)	13
Tabel 2.2	Tekanan Uap Jenuh Air	15
Tabel 4.1	Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air Tanpa Penambahan <i>Fresh Air</i>	26
Tabel 4.2	Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air dengan Penambahan <i>Fresh Air</i> sebesar 1 NI/menit	27
Tabel 4.3	Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air dengan Penambahan <i>Fresh Air</i> sebesar 2 NI/menit	28
Tabel 4.4	Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air dengan Penambahan <i>Fresh Air</i> sebesar 3 NI/menit	29
Tabel 4.5	Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu Tanpa Penambahan <i>Fresh air</i>	29
Tabel 4.6	Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan <i>Fresh air</i> sebesar 1 NI/menit	29
Tabel 4.7	Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan <i>Fresh air</i> sebesar 2 NI/menit	30
Tabel 4.8	Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan <i>Fresh air</i> sebesar 3 NI/menit	30

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Gambar MRI dari lobak selama dehidrasi pengeringan vakum menggunakan gelombang mikro.....	6
Gambar 2.2	Diagram fase H ₂ O (Air).....	14
Gambar 2.3	Skema Hubungan Tekanan Atmosfer, Tekanan <i>Gauge</i> dan Tekanan Absolut.....	16
Gambar 3.1	Instalasi Alat	18
Gambar 3.2	<i>Vacuum Chamber</i>	19
Gambar 3.3	<i>Moisture analyzer</i>	21
Gambar 3.4	Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 4.1	Hubungan distribusi kadar air pada daerah pengujian pada variasi penambahan <i>Fresh Air</i> 2 NI/menit	36
Gambar 4.2	Hubungan distribusi kadar air pada daerah pengujian pada variasi penambahan <i>fresh air</i> 3 NI/menit	36
Gambar 4.3	Ukuran dan warna spesimen pada variasi tanpa penambahan <i>fresh air</i> , (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan.....	37
Gambar 4.4	Ukuran dan warna spesimen pada variasi penambahan <i>fresh air</i> 1 NI/menit, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan.....	37
Gambar 4.5	Ukuran dan warna spesimen pada variasi penambahan <i>fresh air</i> 2 NI/menit, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan.....	38

Gambar 4.6 Ukuran dan warna spesimen pada variasi penambahan
fresh air 3 Nl/menit, (a) ukuran awal spesimen sebelum
 pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan,
 (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan,
 (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan..... 38



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Laju Pengeringan	g/menit (gram/menit)	\bar{V}
Selisih massa	g (gram)	Δm
Waktu	menit	t
Tekanan	atm, bar	P
Volume	NI (Normal Liter), L (Liter)	V
Suhu	°C (Celcius), K (Kelvin)	T



RINGKASAN

Restu Firmansyah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2018, Pengaruh Penambahan *Fresh Air* Terhadap Karakteristik Pengeringan Labu Kuning (*Cucurbita mochata*) dengan Menggunakan *Microwave Vacuum Drying*, Dosen Pembimbing : Nurkholis Hamidi dan Haslinda Kusumaningsih.

Pengeringan telah lama digunakan sebagai salah satu bentuk teknologi pengawetan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan produk pangan yang stabil sesuai dengan penggunaan produk tersebut dan karakteristik sensoris tertentu. Penelitian ini menganalisa kualitas karakteristik pengeringan dengan menggunakan *microwave vacuum drying*.

Penelitian ini menggunakan 4 perbandingan variasi pengeringan yaitu *microwave vacuum drying* tanpa penambahan *fresh air* dan *microwave vacuum drying* dengan penambahan *fresh air* sebesar 1 NI/menit, 2 NI/menit dan 3 NI/menit. Setiap variasi pengeringan memiliki prosedur yang berbeda tetapi menghasilkan proses akhir setiap 3 menit sekali hingga penurunan massa spesimen labu kuning mencapai 0,01 g atau konstan. Pengeringan dilakukan pada daya 40Watt dan tekanan *vacuum pump* maksimal sebesar - 0.94 bar. Data yang dianalisis adalah penurunan massa spesimen, laju pengeringan, kadar air, distribusi kadar air akhir spesimen dan perbandingan ukuran dan warna spesimen sebelum dan setelah pengeringan dari hasil pengeringan masing-masing variasi pengeringan.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan *fresh air* meningkatkan laju pengeringan sehingga pengurangan massa spesimen akan meningkat. Laju pengeringan yang tinggi juga menurunkan kadar air dan waktu pengeringan. Distribusi kadar air pada bagian spesimen terjadi secara tidak merata tetapi terjadi penyusutan dan perubahan warna yang lebih baik.

Kata Kunci: pengeringan, kadar air, *microwave vacuum drying*, *fresh air*, labu kuning.

SUMMARY

Restu Firmansyah, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2018, Influence of Addition of Fresh Water to Characteristic of Drying of Yellow Pump (Cucurbita moschata) by Using Microwave Vacuum Drying, Academic Supervisor : Nurkholis Hamidi and Haslinda Kusumaningsih.*

Drying has been used as a form of preservation technology. The goal is to obtain stable food products according to the use of the product and certain sensory characteristics. This research analyzed the quality of drying characteristics using microwave vacuum drying.

This research were variated by 4 variations of drying: microwave vacuum drying without fresh air addition and microwave vacuum drying with fresh air addition 1 Nl / min, 2 Nl / min and 3 Nl / min. Each variation of drying has a different procedure but produces a final process every 3 minutes until mass decreation of pumpkin specimen reached 0.01 g or constant. Drying condition at 40 Watt and maximum vacuum pump pressure -0.94 bar. Data that has been analyzed were decrease of specimen mass, drying rate, moisture content, specimen final water content distribution and specimen size and color comparison before and after drying of each drying variation.

The results showed the addition of fresh air were increased the specimen drying rate so the mass reduction of specimen increased. Drying rate also decreased water content and drying time. The distribution of moisture content in specimen were occured unevenly but there was better shrinkage and color change.

Keywords: *drying, moisture content, microwave vacuum drying, fresh water, pumpkin.*

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, M.R. 2017. Analisis karakteristik dan kualitas pengeringan dengan metode ultrasonik *chill drying*. Skripsi. Malang : Universitas Brawijaya.
- Cengel, Yunus. A. (2006). *Thermodynamic An Engineering Approach*. McGraw- Hill, Inc.
- Chang, Raymond. 2005. Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Direktorat Gizi Depkes RI. 1981. Daftar Komposisi Bahan Makanan. Jakarta : Gratar Karya Aksara.
- Estiasih, T., dan K. Ahmadi. 2011. *Teknologi Pengolahan Pangan*. Malang : Bumi Aksara.
- Hasibuan, R. 2005. Proses Pengeringan. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Hendrasty, H.K. 2003. *Tepung Labu Kuning Pembuatan dan Pemanfaatannya*. Yogyakarta : Kanisius.
- Labuza TP. (1982). *Shelf Life Dating of Foods*. Westport Connecticut: Food and Nutrition Press Inc.
- Muarif. 2013. *Rancang Bangun Alat Pengering*. www.digilibspolsri.ac.id. (6 Januari 2018)
- Mujumdar, A.S. 2015 *Handbook of Industrial Drying 4th Edition*. CRC Press : Boca Raton.
- Palupi, N.S., F.R Zakaria., dan E Prangdimurti. 2007. *Pengaruh Pengolahan terhadap Nilai Gizi Pangan*. Modul e-Learning ENBP, Departemen Ilmu & Teknologi-Fateta-IPB.
- Rachmadiarti. 2007. Biologi Umum. Surabaya: Unesa University Press.
- Rachmawan, O. 2001. *Pengeringan, Pendinginan dan Pengemasan Komoditas Pertanian*. Depdiknas. Jakarta.
- Ripi, V.I. 2011. Pembuatan dan Analisis Kandungan Gizi Tepung Labu Kuning (*Cucurbita moschata*). Skripsi. Yogyakarta : Universitas Pembangunan Nasional.
- Simanjuntak, W. 2017. *Pengaruh Penambahan Fresh Air Terhadap Karakteristik Pengeringan Dengan Ultrasonik Chill Drying*. Thesis. Malang : Universitas Brawijaya.
- Suprpti, L. 2005. Kuaci dan Manisan Waluh. Yogyakarta : Kanisius.
- Surdia dan Chijiwa. 2000. Teknologi Pengecoran Logam. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Suryadi. 2011. Difusi osmosis. Bandung : Universitas Padjajaran.
- Tanaka M. 2007. *Microwave heating of water, ice, and saline solution: molecular dynamics study*, Jepang.
- Treybal. 1981. *Mass Transfer Operation 3rd edition*. Mc Graw Hill, Inc. New York.

Victor L. Streeter, E. B. W. 1995. Mekanika Fluida Jilid 2. Jakarta : Erlangga.

Waziroh, E., Dego, Y.A., Nur, I. 2017. Proses Termal pada Pengolahan Pangan. UB Media : Malang.



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN *FRESH AIR* TERHADAP
KARAKTERISTIK PENGERINGAN LABU KUNING (*CUCURBITA
MOSCHATA*) DENGAN MENGGUNAKAN *MICROWAVE VACUUM
DRYING***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RESTU FIRMANSYAH
NIM. 145060200111010

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 11 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

Dosen Pembimbing II

Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.
NIP. 19890102 201504 2 002



Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 078/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

RESTU FIRMANSYAH

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH PENAMBAHAN *FRESH AIR* TERHADAP KARAKTERISTIK PENGERINGAN
LABU KUNING (*CUCURBITA MOSCHATA*) DENGAN MENGGUNAKAN *MICROWAVE
VACUUM DRYING***

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

11 JUL 2018

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D

NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur penjiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat (2) dan Pasal 70).

Malang, 2 Juli 2018

Mahasiswa,



Restu Firmansyah

NIM. 145060200111014

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi hasil pertanian sebagai bahan makanan yang ada di Indonesia semakin mengalami peningkatan. Akan tetapi, peningkatan produksi hasil pertanian yang ada, tidak didukung dengan peningkatan teknologi pengolahannya. Hal tersebut mengakibatkan teknologi pengolahan pangan menjadi sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas produk makanan serta dapat memperpanjang waktu konsumsi bahan makanan itu sendiri (Simanjuntak, W, 2017).

Pada prinsipnya pengolahan pangan dilakukan dengan tujuan untuk pengawetan, pengemasan, penyimpanan produk pangan, mengubah menjadi produk yang diinginkan dan mempersiapkan bahan pangan agar siap dihidangkan. Semua bahan mentah merupakan komoditas yang mudah rusak, sejak dipanen, bahan pangan mentah, baik tanaman maupun hewan akan mengalami kerusakan melalui serangkaian reaksi biokimiawi. Kecepatan kerusakan sangat bervariasi, dapat terjadi secara cepat hingga relatif lambat. Satu faktor utama kerusakan bahan pangan adalah kandungan air aktif secara biologis dalam jaringan. Bahan mentah dengan kandungan air aktif secara biologis yang tinggi dapat mengalami kerusakan dalam beberapa hari saja (Palupi, N.S., F.R Zakaria., dan E Prangdimurti, 2007).

Pengeringan telah lama digunakan sebagai salah satu bentuk teknologi pengawetan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan produk pangan yang stabil sesuai dengan penggunaan produk tersebut dan karakteristik sensoris tertentu. Pengeringan merupakan metode pengawetan dengan cara pengurangan kadar air dari bahan pangan sehingga daya simpan menjadi lebih panjang. Perpanjangan daya simpan terjadi karena aktivitas mikroorganisme dan enzim menurun sebagai akibat dari air yang dibutuhkan untuk aktivitasnya tidak cukup (Estiasih, T., dan K. Ahmadi, 2011).

Labu kuning atau yang dikenal sebagai waluh merupakan salah satu komoditas pertanian yang saat ini mulai mendapatkan perhatian karena potensi gizinya yang tinggi. Labu kuning merupakan bahan pangan yang kaya karbohidrat. Di samping itu, labu kuning juga kaya karotenoid, yaitu suatu kelompok senyawa yang berwarna kuning-jingga, yang pada saat ini diketahui mempunyai sifat fungsional sebagai antioksidan. β -karoten merupakan salah satu jenis karotenoid, disamping mempunyai aktivitas biologis sebagai provitamin-A, juga dapat berperan sebagai antioksidan yang efektif. Antioksidan

merupakan senyawa-senyawa yang dapat menghambat terjadinya proses oksidasi, sehingga dapat mencegah terjadinya penyakit-penyakit degeneratif, misalnya penuaan, kanker, diabetes, dan katarak. Labu kuning dapat dikonsumsi baik dalam keadaan mentah dengan dibuat *juice*, maupun setelah dimasak menjadi berbagai macam masakan. Selain itu, labu kuning juga dapat diolah menjadi produk awetan kering berupa tepung labu kuning, sehingga dapat tahan disimpan dalam waktu yang lama dan dapat secara praktis digunakan sebagai bahan pembuatan berbagai produk makanan (Hendrasty, H.K, 2003).

Pengeringan vakum gelombang mikro berpotensi diterapkan pada pengeringan buah-buahan. Keuntungannya adalah nilai nutrisi dan sifat fungsional bahan pangan dapat dipertahankan. Buah-buahan dan sayuran yang dikeringkan dengan teknik ini mempunyai kualitas yang baik. Pengeringan gelombang mikro pada kondisi vakum menurunkan titik didih air dalam bahan pangan sehingga suhu proses dapat lebih rendah. Kombinasi pemanasan gelombang mikro dan vakum mengakibatkan proses pengeringan lebih cepat dibandingkan pengeringan konvensional (Estiasih, T., dan K. Ahmadi, 2011).

Menurut Simanjuntak, W (2017), selama proses pengeringan akan terjadi penurunan massa dan kadar air yang semakin signifikan seiring penambahan *fresh air* sehingga akan meningkatkan laju pengeringan bahan pangan. Hal ini dikarenakan *fresh air* akan membilas udara jenuh dalam ruang pengering sehingga dengan semakin banyak *fresh air* yang masuk kedalam ruang pengering maka kejenuhan udara didalam ruang pengering akan semakin berkurang.

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan *fresh air* diterapkan pada metode pengeringan *ultrasonic chill drying*. Namun terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan, kelebihanannya yaitu proses yang cepat dan kekurangannya adalah tidak boleh digunakan untuk produk pangan cair dengan kadar lemak yang tinggi (Waziroh, E., Dego, Y.A., Nur, I, 2017). Hal ini menyebabkan terbatasnya penggunaan metode menggunakan gelombang *ultrasonic* untuk pengeringan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas diatas, diperlukan adanya penelitian mengenai suatu metode pengeringan yang lebih cepat dan efisien. Metode tersebut adalah pengeringan vakum gelombang mikro yang dikombinasikan dengan penambahan *fresh air*. Gelombang mikro digunakan sebagai pemacu keluarnya molekul air dari sel-sel makanan yang diaplikasikan pada kondisi dingin (4°C) dimana pada kondisi ini molekul air mencapai ukuran terkecil akibat sifat anomali air pada temperatur tersebut sehingga lebih mudah untuk dikeluarkan. Gelombang mikro juga memiliki *pumping effect* sehingga mendesak air keluar dari sel dan evaporasi berlangsung dengan cepat (Agusta, M.R.,

2017). Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *fresh air* terhadap karakteristik pengeringan labu kuning (*Cucurbita moschata*) dengan menggunakan *microwave vacuum drying*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana perbedaan kadar air dan massa spesimen pengeringan menggunakan metode *microwave vacuum drying* dengan dan tanpa penambahan *fresh air*?
2. Bagaimana perbedaan laju pengeringan spesimen menggunakan metode *microwave vacuum drying* dengan dan tanpa penambahan *fresh air*?
3. Bagaimana distribusi kandungan air pada spesimen pengeringan menggunakan metode *microwave vacuum drying* dengan dan tanpa penambahan *fresh air*?

1.3 Batasan Masalah

1. Spesimen pada penelitian ini menggunakan labu kuning
2. *Fresh air* yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan dari beda tekanan antara *vacuum chamber* dengan atmosfer
3. Tidak ada perpindahan panas dari dalam *microwave* ke lingkungan maupun sebaliknya
4. Spesimen yang dikeringkan menggunakan tekanan maksimal dari *vacuum pump*
5. Kadar air awal spesimen pada setiap pengujian memiliki nilai yang sama

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan teknologi pengeringan baru yang dapat menjaga kualitas produk pengeringan
2. Mengetahui perbandingan cara pengeringan makanan menggunakan *microwave vacuum drying* dengan dan tanpa penambahan *fresh air*
3. Mengetahui perbandingan kualitas hasil pengeringan makanan menggunakan *microwave vacuum drying* dengan dan tanpa penambahan *fresh air*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat dijadikan bahan penelitian selanjutnya untuk mendapatkan produk optimal
2. Sebagai salah satu pengembangan teknologi pengeringan makanan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

2.1.1 *Ultrasonic Chill Drying* dengan penambahan *Fresh Air*

Pengering *ultrasonic* ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan yang dimiliki adalah proses pengeringan yang tergolong cepat. Kekurangannya adalah persyaratan proses yang unik yaitu tidak boleh digunakan untuk produk pangan cair dengan kadar lemak tinggi. Hal ini ditakutkan dapat menimbulkan oksidasi lemak yang berbahaya bagi produk pangan yang akan dihasilkan (Waziroh, E., Dego, Y.A., Nur, I, 2017).

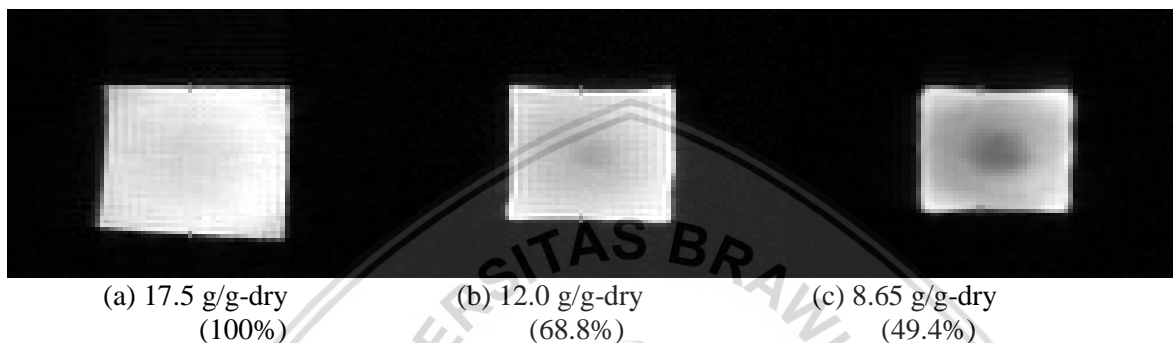
Chill drying berbeda dengan *freeze drying* karena pada cara pengeringan ini tidak terjadi pembekuan molekul air sehingga pengeringan terjadi secara evaporasi (perubahan fase dari cair ke gas) bukan sublimasi (perubahan fase dari padat ke gas). *Chill* (dingin) merupakan kisaran temperatur rendah namun tidak sampai dibawah titik beku air (*freeze*) dalam tekanan 1 atm. Kisaran angka pada kondisi udara *chill* yaitu 1-8°C. Dalam kisaran angka tersebut, molekul air akan menunjukkan sifat *anomali* ketika suhu berada pada 4°C. Pada kondisi tersebut volume dari molekul air akan mencapai ukuran minimal sehingga akan mudah untuk dikeluarkan dari sel-sel makanan yang mengandungnya.

Menurut Simanjuntak W (2017), variasi penambahan *fresh air* ke dalam ruang pengering yaitu 1 liter/menit, 2 liter/menit, dan 3 liter/menit. Setiap 60 menit spesimen kunyit akan diukur penurunan massanya hingga massa spesimen mendekati stagnan. Sehingga dapat diketahui penurunan massa, kadar air, dan laju pengeringan. Spesimen yang sudah kering kemudian dilakukan pengecekan distribusi kadar air. Selama proses pengeringan akan terjadi penurunan massa dan kadar air yang semakin signifikan seiring penambahan *fresh air* sehingga akan meningkatkan laju pengeringan spesimen kunyit. Hal ini dikarenakan *fresh air* akan membilas udara jenuh dalam ruang pengering sehingga dengan semakin banyak *fresh air* yang masuk kedalam ruang pengering maka kejenuhan udara didalam ruang pengering akan semakin berkurang.

2.1.2 *Microwave Vacuum Drying*

Pengeringan ini dilakukan dengan cara menurunkan temperatur didih dari air. Sehingga air bisa mendidih dan menguap di bawah temperatur 100 °C. Pengeringan ini membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dari yang lain. *Microwave vacuum drying*

memiliki kelebihan memperpendek waktu pengeringan dan meningkatkan kualitas produk, sehingga gizi yang tinggi dan kualitas produk sensorik (Tanaka M, 2007). Penyerapan energi dengan bahan basah tergantung pada distribusi air, yang menyebabkan pemanasan selektif bagian *interior*, melindungi bagian kelembaban rendah, misalnya permukaan bahan, dari *overheating*. Bahkan, pemanasan *microwave* menyebabkan pemanasan volumetrik, sehingga uap dihasilkan dalam produk, pengembangan gradien tekanan internal menyebabkan aliran air dari interior ke permukaan material (drainase). Dengan cara ini, penyusutan makanan berkurang.



Gambar 2.1 Gambar MRI dari lobak selama dehidrasi pengeringan vakum menggunakan gelombang mikro
Sumber: Tanaka (2007)

2.2 Pengertian Pengeringan

Bahasa ilmiah pengeringan adalah penghidratan, yang berarti menghilangkan air dari suatu bahan. Proses pengeringan atau penghidratan berlaku apabila bahan yang dikeringkan kehilangan sebagian atau keseluruhan air yang dikandungnya. Proses utama yang terjadi pada proses pengeringan adalah penguapan. Penguapan terjadi apabila air yang dikandung oleh suatu bahan teruap, yaitu apabila panas diberikan kepada bahan tersebut. Panas ini dapat diberikan melalui berbagai sumber, seperti kayu api, minyak dan gas, arang batu ataupun tenaga surya.

Pengeringan juga dapat berlangsung dengan cara lain yaitu dengan memecahkan ikatan molekul-molekul air yang terdapat di dalam bahan. Apabila ikatan molekul-molekul air yang terdiri dari unsur dasar oksigen dan hidrogen dipecahkan, maka molekul tersebut akan keluar dari bahan. Akibatnya bahan tersebut akan kehilangan air yang dikandungnya. Cara ini juga disebut pengeringan atau penghidratan. Untuk memecahkan ikatan oksigen dan hidrogen ini, biasanya digunakan gelombang mikro. Gelombang mikro merambat dengan frekuensi yang tinggi. Apabila gelombang mikro disesuaikan setara dengan getaran molekul-molekul air maka akan terjadi resonansi yaitu ikatan molekul-molekul oksigen dan hidrogen digetarkan dengan kuat pada frekuensi gelombang mikro yang diberikan

sehingga ikatannya pecah. Hal ini yang menyebabkan air tersebut menguap. Proses yang sama terjadi pada oven gelombang mikro (*microwave*) yang digunakan untuk memasak makanan (Hasibuan, R, 2005).

2.3 Jenis-Jenis Pengeringan

Dalam proses pengeringan bahan pangan, terdapat banyak metode yang dapat digunakan. Pemilihan jenis pengeringan yang sesuai untuk suatu produk pangan ditentukan oleh kualitas produk akhir yang diinginkan, sifat bahan pangan yang dikeringkan, dan biaya produksi atau pertimbangan ekonomi (Estiasih, T., dan K. Ahmadi, 2011). Beberapa metode pengeringan yang digunakan sampai sejauh ini adalah penjemuran (*sun drying*), pengeringan matahari (*solar drying*), pengeringan udara panas (*hot-air drying*), pengeringan kabinet (*cabinet drying*), pengeringan terowongan (*tunnel drying*), pengeringan ban berjalan (*conveyor drying*), pengeringan semprot (*spray drying*), pengeringan drum (*drum drying*), pengeringan vakum (*vacuum drying*), pengeringan beku (*freeze drying*), pengeringan gelombang mikro (*microwave drying*), pengeringan vakum gelombang mikro (*microwave vacuum drying*) dan pengeringan-pembekuan (*dehydrofreezing*).

2.4 Mekanisme Pengeringan

Udara yang terdapat dalam proses pengeringan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan. Kecepatan pengeringan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengeringan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Muarif, 2013).

Berdasarkan proses pengeringan yang terjadi atau sumber energi yang digunakan untuk mengeringkan, metode pengeringan dapat diklasifikasikan menjadi berikut (Estiasih, T., dan K. Ahmadi, 2011)

1. Pengeringan matahari

Pengeringan yang menggunakan radiasi sinar matahari untuk mengeringkan bahan.

2. Pengeringan atmosferik

Pengeringan pada kondisi tekanan 1 atm tanpa diberikan perlakuan vakum. Contohnya adalah pengeringan sistem *batch* dan sistem kontinu.

3. Pengeringan subatmosferik

Pengeringan dengan pengurangan tekanan udara sampai vakum. Pengeringan yang termasuk ke dalam jenis ini adalah pengeringan vakum dan pengeringan beku.

Pengeringan adalah suatu peristiwa perpindahan massa dan energi yang terjadi dalam pemisahan cairan atau kelembaban dari suatu bahan sampai batas kandungan air yang ditentukan dengan menggunakan gas sebagai fluida sumber panas dan penerima uap cairan (Treybal, 1981). Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Panas berpindah dari medium pemanas ke bahan. Setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini menyangkut aliran fluida di mana cairan harus berpindah melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Jadi panas disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar dapat lepas dari bahan dan berubah bentuk menjadi uap air yang bebas.

Beberapa mekanisme aliran internal air yang dapat berlangsung:

1. Difusi

Difusi adalah gerakan molekul dari konsentrasi lebih tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah, yaitu penurunan gradien konsentrasi sampai mencapai keseimbangan dan penyebarannya seimbang (Rachmadiarti, 2007). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi, yaitu:

- a. Ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel, semakin cepat partikel itu bergerak, sehingga kecepatan difusi itu tinggi.
- b. Ketebalan membran. Semakin tebal membran semakin lambat kecepatan difusi.
- c. Luas suatu area. Semakin besar luas area, semakin cepat kecepatan difusinya.
- d. Suhu. Semakin tinggi suhu, partikel mendapatkan energi untuk bergerak dengan lebih cepat. Maka, semakin cepat pula kecepatan difusinya.
- e. Jarak. Semakin besar jarak antara dua konsentrasi, semakin lambat kecepatan difusinya.
- f. Perbedaan Konsentrasi, makin besar perbedaan konsentrasi antara dua bagian, makin besar proses difusi yang terjadi (Suryadi, 2011).

2. *Capillary flow*

Pergerakan cairan yang mengikuti gaya grafitasi dan kapilaritas. Kapilaritas adalah fenomena naik atau turunnya permukaan zat cair melalui celah-celah sempit.

2.5 Faktor Pengeringan

Dalam pengeringan pangan umumnya diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimum. Berbagai cara dilakukan untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa selama proses pengeringan. Faktor-faktor yang memengaruhi kecepatan pindah panas dan massa tersebut adalah luas permukaan, suhu, kecepatan pergerakan udara, kelembaban udara, tekanan atmosfer, penguapan air, dan lama pengeringan (Estiasih, T., dan K. Ahmadi, 2011).

2.5.1 Luas Permukaan

Pada umumnya, bahan pangan yang akan dikeringkan mengalami pengecilan ukuran, baik dengan cara diiris, dipotong, atau digiling. Proses pengecilan ukuran dapat mempercepat proses pengeringan dengan mekanisme sebagai berikut.

1. Luas permukaan bahan yang tinggi atau ukuran bahan yang semakin kecil menyebabkan permukaan yang dapat kontak dengan medium pemanas menjadi lebih banyak.
2. Luas permukaan yang tinggi juga menyebabkan air lebih mudah berdifusi atau menguap dari bahan pangan sehingga kecepatan penguapan air lebih cepat dan bahan menjadi lebih kering.
3. Ukuran yang kecil menyebabkan penurunan jarak yang harus ditempuh oleh panas. Panas bergerak menuju pusat bahan pangan yang dikeringkan. Sehingga pergerakan air dari pusat bahan pangan ke permukaan bahan menjadi lebih pendek.

2.5.2 Suhu

Pada umumnya, semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan pangan semakin cepat pindah panas ke bahan pangan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan pangan. Apabila udara merupakan medium pemanas, maka faktor lain yang penting untuk diperhatikan adalah kecepatan pergerakan udara. Pada proses pengeringan, air dikeluarkan dari bahan pangan berupa uap air. Uap air tersebut harus segera dikeluarkan dari atmosfer di sekitar bahan pangan yang dikeringkan. Jika tidak segera keluar, udara di sekitar bahan pangan akan menjadi jenuh oleh uap air sehingga memperlambat proses pengeringan.

Semakin tinggi suhu udara, semakin banyak uap air yang dapat ditampung oleh udara tersebut sebelum terjadi kejenuhan. Dapat disimpulkan bahwa udara bersuhu tinggi lebih cepat mengambil air dari bahan pangan sehingga proses pengeringan lebih cepat. Faktor

lain yang memengaruhi kecepatan pengeringan adalah volume udara. Semakin tinggi volume udara, proses kejenuhan akan semakin lambat sehingga pengeringan lebih cepat.

2.5.3 Kecepatan Pergerakan Udara

Udara yang bergerak atau bersirkulasi akan lebih cepat mengambil uap air dibandingkan udara diam. Pada proses pergerakan udara, uap air dari bahan akan diambil dan terjadi mobilitas yang menyebabkan udara tidak pernah mencapai titik jenuh.

Dapat disimpulkan bahwa semakin cepat pergerakan/sirkulasi udara, proses pengeringan akan semakin cepat. Prinsip ini yang menyebabkan beberapa proses pengeringan menggunakan sirkulasi udara atau udara yang bergerak seperti pengering kabinet, *tunnel dryer*, pengeringan semprot (*spray dryer*).

2.5.4 Kelembaban Udara

Apabila udara digunakan sebagai medium pengering atau bahan pangan dikeringkan di udara, semakin kering udara tersebut (kelembaban semakin rendah) kecepatan pengeringan semakin tinggi. Udara yang kering mempunyai konsentrasi uap air yang belum mencapai titik jenuh, sedangkan udara lembab hampir jenuh dengan uap air. Oleh karena itu, udara yang kering lebih cepat mengambil uap air sehingga kecepatan pengeringan lebih tinggi.

Kelembaban udara juga menentukan kadar air akhir bahan pangan setelah dikeringkan. Bahan pangan yang telah dikeringkan bersifat higroskopis yang dapat menyerap air dari udara sekitarnya. Jika udara di sekitar bahan kering tersebut mengandung uap air tinggi atau lembab, maka kecepatan penyerapan uap air oleh bahan pangan tersebut akan semakin cepat. Proses penyerapan akan berhenti sampai kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan tersebut tercapai. Kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan adalah kelembaban pada suhu tertentu dimana tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara dan tidak terjadi penyerapan uap air dari udara oleh bahan pangan.

Pada kelembaban nisbi udara yang lebih kecil dari kesetimbangan kelembaban nisbi bahan, penguapan air dari bahan pangan masih dapat terjadi dan bahan pangan tersebut masih dapat dikeringkan. Sebaliknya, jika kelembaban nisbi udara lebih tinggi dari kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan, maka akan terjadi proses penyerapan uap air dari udara oleh bahan. Pada keadaan ini tidak terjadi pengeringan, justru sebaliknya, terjadi peningkatan kadar air bahan.

2.5.5 Tekanan Atmosfer

Pada tekanan udara 1 atm (760 mmHg) air mendidih pada suhu 100°C di ketinggian 0 meter dari permukaan laut. Jika tekanan udara lebih rendah dari 1 atm, air lebih cepat mendidih dan titik didih lebih rendah dari 100°C.

Jika pengeringan bahan pangan dilakukan pada suhu konstan dan tekanan diturunkan, maka kecepatan penguapan akan lebih tinggi. Prinsip ini yang mendasari perancangan alat pengering subatmosferik, yaitu tekanan udara yang digunakan dibawah 1 atm.

Pengeringan pada kondisi vakum menyebabkan pengeringan lebih cepat atau suhu yang digunakan untuk proses pengeringan dapat lebih rendah. Suhu rendah dan kecepatan pengeringan yang tinggi diperlukan untuk mengeringkan bahan pangan yang peka terhadap panas.

2.5.6 Penguapan Air

Penguapan atau evaporasi merupakan proses penghilangan air dari bahan pangan yang dikeringkan sampai diperoleh produk kering yang stabil. Pada proses penguapan air dari permukaan bahan, terjadi proses pengambilan energi dari bahan tersebut sehingga permukaan bahan menjadi dingin. Proses pendinginan tersebut disebabkan oleh penyerapan panas laten; perubahan fase cair menjadi uap, gas, atau panas penguapan yang mengubah air menjadi uap air. Sumber panas yang digunakan adalah udara pengering atau bahan pangan yang panas sehingga bahan pangan tersebut menjadi dingin.

2.5.7 Lama Pengeringan

Lama pengeringan menentukan lama kontak bahan dengan panas. Karena sebagian besar bahan pangan sensitif terhadap panas maka waktu pengeringan yang digunakan harus maksimum, yaitu kadar air bahan akhir yang diinginkan telah tercapai dengan lama pengeringan yang pendek.

2.6 Karakteristik Penguapan Air

2.6.1 Kadar Air

Kadar air suatu bahan menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan yang dapat dinyatakan dalam persen berat basah (*wet basis*) atau dalam persen berat kering (*dry basis*). Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100%, sedangkan kadar air berat kering dapat lebih dari 100%. Kadar air berat basah (b.b) adalah

perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan (Rachmawan, O, 2001).

Kadar air berat basah dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kadar air berat basah} = \frac{\text{berat awal spesimen (g)} - \text{berat kering (g)}}{\text{berat awal spesimen (g)}} \times 100\% \quad (2-1)$$

Sumber: Surdia dan Chijiwa (2000)

Pengukuran kadar air secara praktis di lapangan dapat dilakukan menggunakan *moisture analyzer* yaitu alat pengukur kadar air secara elektronik. Kandungan air pada suatu bahan hasil pertanian terdiri dari 3 jenis yaitu:

1. Air bebas (*free water*). Air ini terdapat pada permukaan bahan, sehingga dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya serta dapat dijadikan sebagai media reaksi-reaksi kimia. Air bebas dapat dengan mudah diuapkan pada proses pengeringan. Bila air bebas ini diuapkan seluruhnya maka kadar air bahan akan berkisar antara 12% sampai 25%.
2. Air terikat secara fisik. Air jenis ini merupakan bagian air yang terdapat dalam jaringan matriks bahan (tenunan bahan) akibat adanya ikatan-ikatan fisik. Air jenis ini terdiri atas:
 - a. Air terikat menurut sistem kapiler yang ada dalam bahan karena adanya pipa-pipa kapiler pada bahan.
 - b. Air absorpsi yang terdapat pada tenunan-tenunan bahan karena adanya tenaga penyerapan dari dalam bahan.
 - c. Air yang terkurung di antara tenunan bahan karena adanya hambatan mekanis dan biasanya terdapat pada bahan yang berserat.
3. Air terikat secara kimia. Untuk menguapkan air jenis ini pada proses pengeringan diperlukan energi yang besar. Air yang terikat secara kimia terdiri dari:
 - a. Air yang terikat sebagai air kristal.
 - b. Air terikat dalam sistem dispersi koloidal yang terdiri dari partikel-partikel yang mempunyai bentuk dan ukuran beragam (Rachmawan, 2001).

2.6.2 Laju Pengeringan Air

Laju pengeringan air digunakan untuk mengetahui seberapa cepat air dikeringkan tiap satuan waktu. Secara matematis, laju pengeringan air dirumuskan sebagai berikut.

$$\bar{V} = \frac{\Delta m}{t} \quad (2-2)$$

Sumber: Mujumdar, A.S (2015)

Dimana:

\bar{V} = laju pengeringan (g/menit)

Δm = selisih massa spesimen (massa sebelum dikeringkan dengan yang sesudah dikeringkan) (g)

t = waktu pengeringan (menit)

2.7 Labu Kuning

Buah labu kuning merupakan jenis tanaman sayuran yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai jenis makanan. Buah labu kuning (*Cucurbita moschata*) bukan tanaman asli Indonesia, melainkan berasal dari Amerika Tengah dan Meksiko Selatan. Kemudian menyebar ke berbagai negara beriklim tropis di Asia seperti Jepang, Taiwan, Thailand, Malaysia, dan Indonesia yang dikenal dengan nama waluh.

Labu kuning memiliki kandungan gizi yang cukup lengkap yakni karbohidrat, protein, dan vitamin-vitamin. Karena kandungan gizinya yang cukup lengkap ini, labu kuning dapat menjadi sumber gizi yang sangat potensial dan harganya pun terjangkau oleh masyarakat yang membutuhkannya. Labu yang sudah diiris mempunyai daya simpan yang jauh lebih rendah dibanding dalam keadaan utuh sehingga perlu dipikirkan cara pengolahannya agar tidak mengalami kerusakan. Salah satu cara yang mungkin dapat dilakukan adalah dengan mengolahnya menjadi tepung (Ripi, V.I, 2011).

Tabel 2.1
Kandungan Gizi Daging Buah Labu Kuning (100gr)

No.	Unsur Gizi	Keterangan
1	Energi	29 kal
2	Air	91,2 gr
3	Protein	1,1 gr
4	Lemak	0,3 gr
5	Kalsium	45 mg
6	Fosfor	64 mg
7	Zat Besi	1,4 mg
8	Vitamin A	180 mg
9	Vitamin B	0,08 mg
10	Vitamin C	52 mg
11	Bagian yang dapat dimakan	77%

Sumber: Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI, Jakarta (1996)

Buah labu kuning terdiri atas dua bagian yang masing-masing memiliki daya guna. Bagian yang paling banyak digunakan adalah daging buah. Daging buah labu kuning antara lain dimanfaatkan sebagai campuran saus tomat, diawetkan dalam bentuk kering (produk awetan kering), dimasak sebagai sayur atau kolak, diolah menjadi dodol, jam /

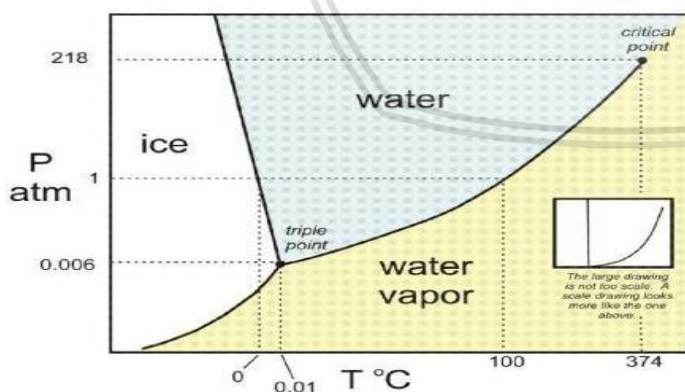
selai, cake, manisan (basah dan kering), sirup, dan jelly. Biji biasanya digunakan sebagai bahan kuaci (Suprapti, L, 2005).

2.8 Komponen Mesin Pendingin

Komponen-komponen pendingin yang dibutuhkan dalam metode *chill drying* dan komponen-komponen dalam metode pengeringan beku (*freeze drying*) tidak berbeda yaitu menggunakan sistem pendinginan dengan siklus kompresi uap. Perbedaannya adalah, pada metode *chill drying* membutuhkan daya yang lebih rendah untuk pengkondisian ruang pengering. Metode ini menggunakan kompresor untuk menaikkan tekanan uap zat pendingin dari evaporator kemudian mendorongnya ke dalam kondensor supaya mudah diembunkan. Siklus mesin ini menggunakan klep yang menghasilkan penurunan tekanan secara *isoenthalpy*.

2.9 Pompa Vakum

Pompa vakum adalah alat yang berfungsi untuk menurunkan tekanan ruang pengering agar terjadi evaporasi dan menghisap air yang menguap dalam ruang pengeringan. Ruang pengeringan udara dikondisikan pada temperatur $4 - 8^{\circ}\text{C}$, sehingga untuk menurunkan titik uap air agar terjadi *sublimasi* maka tekanan dalam ruang pengeringan tersebut perlu diturunkan berdasarkan diagram fase air. Penggunaan kondisi udara vakum (dibawah tekanan 1 atm) bertujuan untuk menurunkan titik didih dari uap air, sehingga proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu rendah.



Gambar 2.2 Diagram fase H₂O (Air)

Sumber: Cengel, Yunus. A (2006)

Untuk menentukan nilai tekanan yang dibutuhkan untuk mencapai titik *evaporasi*, maka dapat dilihat sesuai dengan Tabel 2.2.

Tabel 2.2
Tekanan Uap Jenuh air

Suhu °C	Tekanan Uap Jenuh (mmHg)
0	4,579
1	4,926
2	5,294
3	5,685
4	6,101
5	6,543
6	7,013
7	7,513
8	8,045
9	8,609
10	9,209

Sumber: Labuza, TP (1982:57)

2.10 *Fresh Air*

Fresh air merupakan udara kering dari atmosfer. Udara kering ini akan membantu dalam memindahkan konsentrasi uap air yang tinggi dari dalam *chamber* menuju luar *chamber*. Pemindahan uap air oleh *fresh air* ini karena adanya perbedaan tekanan antara ruang *chamber* pengering dan atmosfer. Sehingga *fresh air* akan melewati uap air sehingga terjadi proses pembilasan.

2.11 *Flowmeter*

Flowmeter adalah alat yang digunakan untuk mengetahui kapasitas aliran (*flow rate*) fluida. Satuan unit pengukurannya dapat berupa normal liter per menit (NI/menit), liter per menit (L/menit). Kondisi normal pada NI/menit dapat diartikan sebagai kondisi aliran pada 0 °C (273 K) dan 1 atm (101,325 kPa, 1,01325 bar, 760 mmHg). Untuk mengubah satuan NI/menit menjadi L/menit diperlukan rumus persamaan gas ideal sebagai berikut.

$$\frac{P_1.V_1}{T_1} = \frac{P_2.V_2}{T_2} \quad (2-3)$$

Sumber: Chang, Raymond (2005)

Dimana:

V1 = Volume gas pada kondisi normal (NI)

V2 = Volume gas pada kondisi aktual (L)

P1 = Tekanan gas pada kondisi normal (bar)

P2 = Tekanan gas pada kondisi aktual (bar)

T1 = Temperatur gas pada kondisi normal (K)

T2 = Temperatur gas pada kondisi aktual (K)

Tekanan gas pada kondisi aktual dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan tekanan absolut sebagai berikut.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge} \quad (2-4)$$

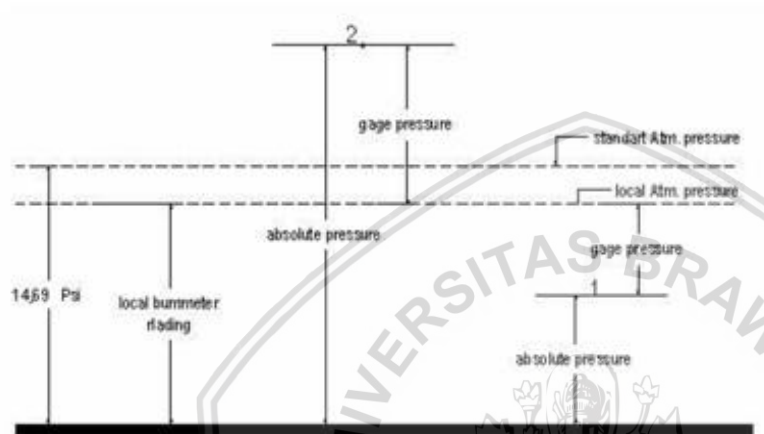
Sumber: Victor L. Streeter (1995)

Dimana:

P_{abs} = Tekanan absolut (bar)

P_{atm} = Tekanan atmosfer (bar)

P_{gauge} = Tekanan terukur (bar)



Gambar 2.3 Skema hubungan tekanan atmosfer, tekanan *gauge* dan tekanan absolut
Sumber: Victor L. Streeter (1995)

2.12 Hipotesis

Gelombang mikro pada *microwave vacuum drying* akan meningkatkan laju pengeringan karena air dari bagian dalam spesimen akan terdesak keluar menuju ke permukaan spesimen. Selain itu penambahan *fresh air* pada *microwave vacuum drying* akan membantu menghilangkan konsentrasi udara jenuh yang ada di dalam *chamber* dengan cara membilasnya menggunakan udara kering yang dimiliki *fresh air* sehingga kejenuhan udara di dalam *chamber* akan semakin berkurang dan transfer massa serta laju pengeringan spesimen akan semakin baik.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian nyata yaitu (*true experimental research*). Jenis penelitian ini dapat dipergunakan untuk menguji suatu perlakuan dengan membandingkannya dengan perlakuan lainnya.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Ruang Penelitian S3 dan Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilakukan pada rentang waktu Februari-Mei 2018.

3.3 Variabel Penelitian

Di dalam penelitian ini terdapat 3 variabel yang dipergunakan, antara lain:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah suatu variabel yang nilainya ditentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a. Debit aliran *fresh air* yang digunakan pada saat pengeringan yaitu 1, 2, 3 NI/menit.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah suatu variabel yang besar nilainya tidak dapat ditentukan melainkan tergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

- a. Massa yang terdapat dalam spesimen hasil pengujian
- b. Laju pengeringan
- c. Kadar air akhir spesimen hasil pengujian
- d. Distribusi kadar air spesimen

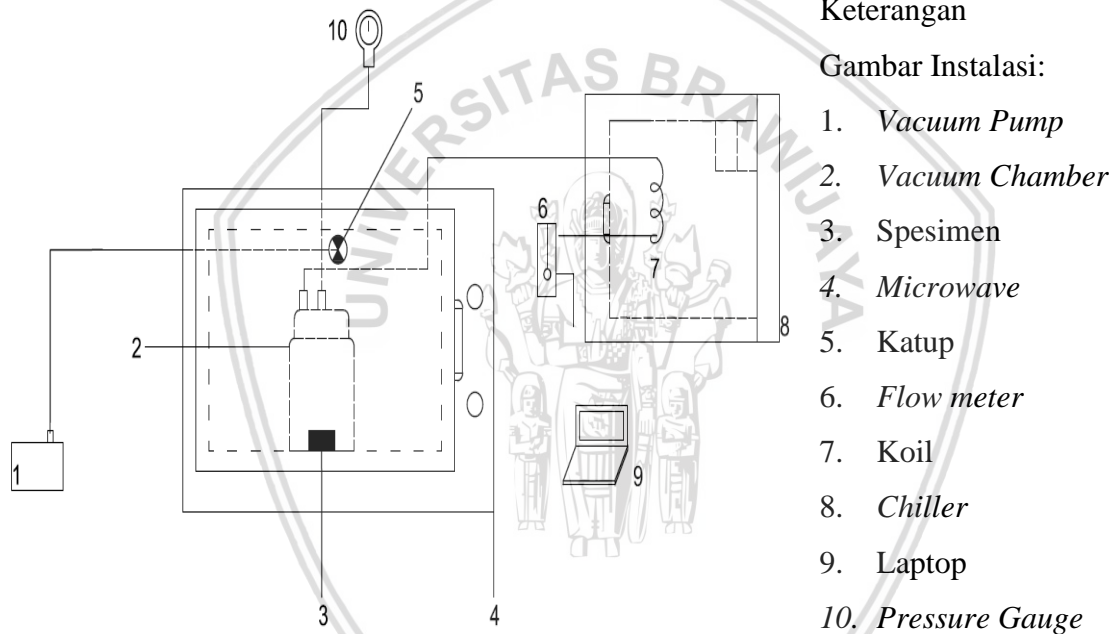
3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah suatu variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan. Adapun yang merupakan variabel terkontrol dalam penelitian ini hal ini ada dua jenis:

- Pada *microwave vacuum drying* tanpa penambahan *fresh air* daya dan temperatur diatur tetap pada 40 watt dan 4°C dengan tekanan vakum maksimal sebesar -0.94 bar.
- Pada *microwave vacuum drying* dengan penambahan *fresh air* daya dan temperatur diatur tetap pada 40 watt dan 4°C dengan tekanan vakum maksimal sebesar -0.94 bar.
- Spesimen yang dikeringkan berupa labu kuning yang dipotong dengan ukuran 2x2x2 cm dengan toleransi tiap ukuran sebesar 5%.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat dan Skema Penelitian



Gambar 3.1 Instalasi Alat

3.4.2 Alat dan Bahan

1. Vacuum Pump

Berfungsi untuk menurunkan tekanan dalam *Vacuum Chamber*, dengan spesifikasi sebagai berikut.

Model	: VE115N
Voltage	: 230V ~ /50 - 60Hz
Free air displacement	: 2.0 CFM
Ultimate vacuum partial pressure	: 2Pa
Ultimate vacuum total pressure	: 150 micron

<i>Power</i>	: 1/4 HP
<i>Inlet port</i>	: 1/4" Flare
<i>Oil capacity</i>	: 250 ml
<i>Dimensions</i>	: 290X124X224 mm
<i>Net weight</i>	: 6.6 kg.

2. *Vacuum Chamber*

Tempat spesimen di beri tekanan oleh pompa vakum dengan spesifikasi sebagai berikut.

Bahan : kaca

Diameter : 11 cm

Tinggi : 11,5 cm



Gambar 3.2 Vacuum chamber

3. *Spesimen*

Bahan yang digunakan sebagai spesimen dalam penelitian ini adalah labu kuning (*Cucurbita moschata*). Buah labu banyak mengandung karotenoid (betakaroten, vitamin A, vitamin C, serat, mineral, lemak dan karbohidrat. Labu kuning (*Cucurbita moschata*) tersebut dipotong dengan ukuran 2 x 2 x 2 cm dengan toleransi sebesar 5% dari masing-masing ukuran.

4. *Microwave*

Alat yang digunakan untuk menghasilkan gelombang mikro dengan spesifikasi sebagai berikut.

Nama : *Microwave Oven Sharp R-222-Y*

Pemakaian Daya : 220 – 240 Volt

Daya Minimal : 40 Watt

Daya Maksimal : 399 Watt

5. Katup

Mengatur tekanan pada *vacuum pump* dengan cara mengurangi luas permukaan dengan spesifikasi sebagai berikut.

Bahan : Kuningan

Jenis : *Ball Valve*

6. *Flow meter*

Mengetahui kapasitas aliran (*flow rate*) fluida.

7. Koil

Memperluas permukaan aliran udara di dalam *chiller* agar proses kondensasi berlangsung dengan baik.

8. *Chiller*

Berfungsi untuk mengondisikan udara dengan spesifikasi sebagai berikut.

Merek : Sanyo

Model : Aqua AQR-D50F

Tegangan : 220V

Arus : 0.57A

Kapasitas : 50 liter

Frekuensi : 50 Hz

Dimensi : 473x483x480 mm

9. Laptop

Menginput dan mengolah data hasil penelitian dengan spesifikasi sebagai berikut.

Operating System: Windows 10 Pro 64-bit (10.0, Build 16299)

BIOS version : 04.06.05

Processor : Intel(R) Core(TM) i5-4200U CPU@1.60 GHz (4 CPUs), ~2,3 GHz

Memory : 4098 MB RAM

DirectX Version : DirectX 12

10. *Pressure Gauge*

Mengukur tekanan pada *chamber* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Merek : WIKA

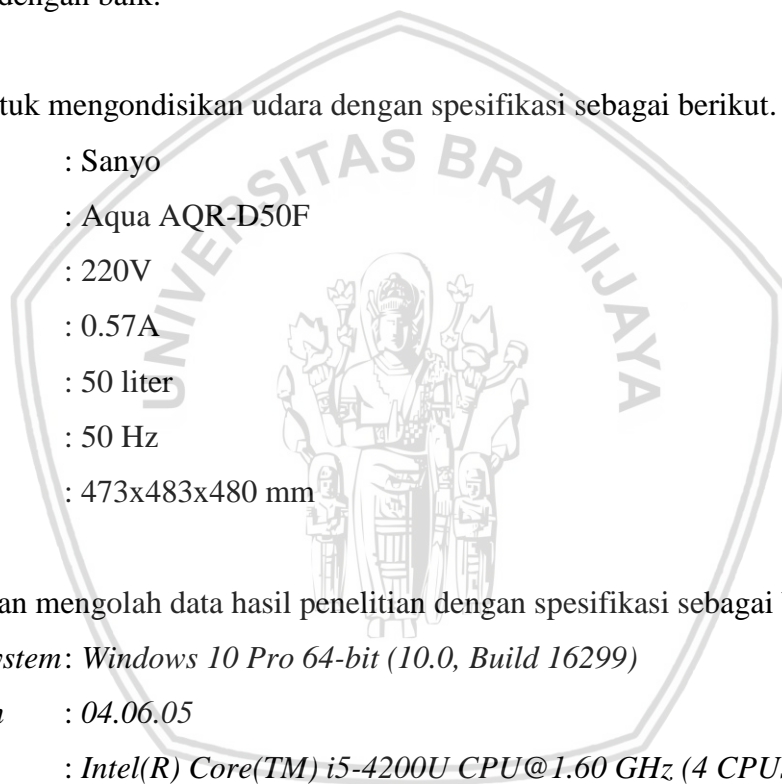
Tipe : EN 837-1 SC250

Kapasitas : 0 sampai -1 bar / 0 sampai -15 psi

Ketelitian : 0.02 bar

11. Thermostat

Mengubah temperature pada *chiller* dengan spesifikasi sebagai berikut.



Kapasitas : -20°C sampai 25°C

Ketelitian : 5°C

12. *Moisture analyzer*

Mengukur *persentase* air dalam spesimen.

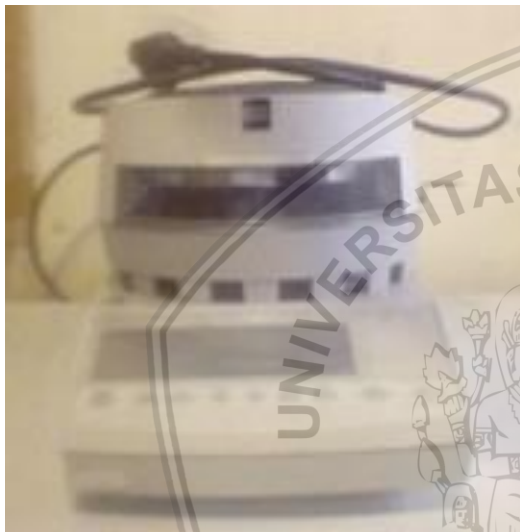
Merek : Saitorius

Tegangan : 100-120/220-290 VAC

Model : MA30

Frekuensi : 50 – 60 Hz

Arus : 3,3 A/1,6 A



Gambar 3.3 *Moisture analyzer*

13. Selang *Manifold*

Menyambungkan pompa vakum dengan *chamber* dan *pressure gauge* serta *chiller* dengan *vacuum chamber*.

3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan dua perbandingan pengeringan sebagai sampel untuk memperlihatkan hasil pengeringan yang berkualitas. Setiap pengeringan memiliki prosedur yang berbeda tetapi menghasilkan proses akhir yang akan dianalisa yaitu laju pengeringan dan pengurangan massa spesimen sampai menuju stagnan. Kemudian hasil akhir dari pengeringan akan di analisa bentuk kadar air, laju pengeringan dan bentuk dari hasil pengeringan masing-masing.

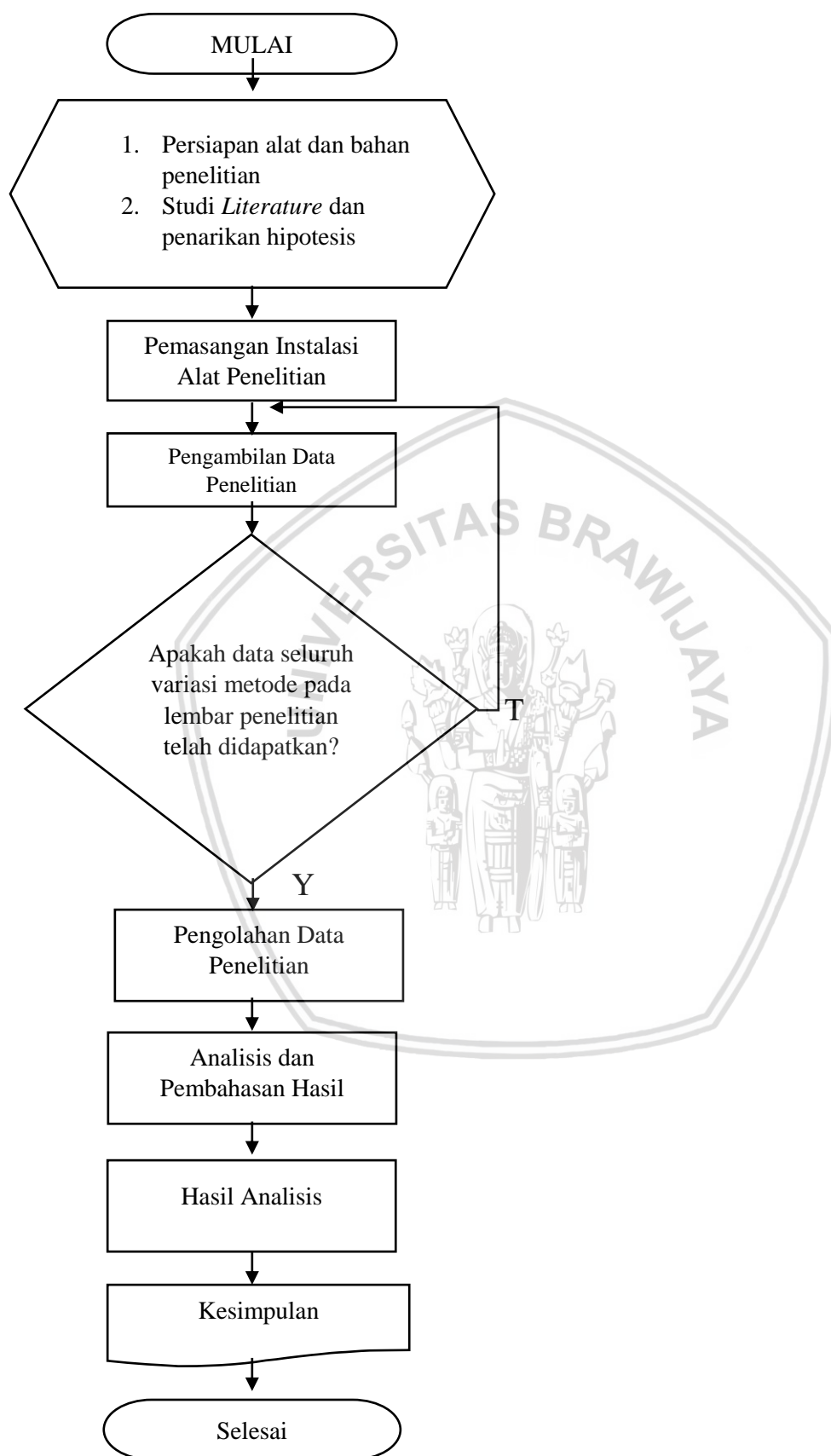
3.5.1 Microwave Vacuum Drying dengan Fresh Air

1. Labu kuning dipotong dengan ukuran $2 \times 2 \times 2$ cm \pm 5% sebanyak 4 buah dan ditimbang massanya dengan menggunakan timbangan elektrik.
2. 4 buah spesimen dibedakan menjadi spesimen 1,2,3 dan 4 dimana spesimen 4 akan dihitung temperatur dalam dan permukaannya.
3. Spesimen 1,2,3 dan 4 kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* lalu *chamber* dimasukkan ke dalam *microwave* yang telah diatur dayanya sebesar 40 Watt lalu di *vacuum* dengan tekanan maksimal *vacuum pump* dan dengan diberi penambahan variasi *fresh air* sebesar 1,2 dan 3 NI/menit dengan waktu pengujian diatur selama 3 menit.
4. Selanjutnya setiap 3 menit sekali spesimen 1,2,3 dan 4 dihitung kembali massanya dan spesimen 4 dihitung kembali temperatur dalam dan luarnya.
5. Pada menit ke 9, 18 dan 27 spesimen 1,2 dan 3 dikeluarkan dari dalam *chamber*.
6. Spesimen 4 dikeluarkan hingga penurunan massa mencapai 0.01 g.
7. Setelah spesimen 4 mencapai penurunan sebesar 0.01 g, spesimen 4 dibagi menjadi 3 bagian yaitu ujung 1, tengah dan ujung 2 untuk mencari distribusi kadar air akhirnya menggunakan *moisture analyzer*.

3.5.2 Microwave Vacuum Drying tanpa Fresh Air

1. Labu kuning dipotong dengan ukuran $2 \times 2 \times 2$ cm \pm 5% sebanyak 4 buah dan ditimbang massanya dengan menggunakan timbangan elektrik.
2. 4 buah spesimen dibedakan menjadi spesimen 1,2,3 dan 4 dimana spesimen 4 akan dihitung temperatur dalam dan permukaannya.
3. Spesimen 1,2,3 dan 4 kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* lalu *chamber* dimasukkan ke dalam *microwave* yang telah diatur dayanya sebesar 40 Watt lalu di *vacuum* dengan tekanan maksimal *vacuum pump* dengan waktu pengujian diatur selama 3 menit.
4. Selanjutnya setiap 3 menit sekali spesimen 1,2,3 dan 4 dihitung kembali massanya dan spesimen 4 dihitung kembali temperatur dalam dan luarnya.
5. Pada menit ke 9, 18 dan 27 spesimen 1,2 dan 3 dikeluarkan dari dalam *chamber*.
6. Spesimen 4 dikeluarkan hingga penurunan massa mencapai 0.01 g.
7. Setelah spesimen 4 mencapai penurunan sebesar 0.01 g, spesimen 4 dibagi menjadi 3 bagian yaitu ujung 1, tengah dan ujung 2 untuk mencari distribusi kadar air akhirnya menggunakan *moisture analyzer*.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data dan Analisis

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Data yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan variasi dari 4 variabel bebas yang digunakan dengan perlakuan berbeda yaitu, pengeringan tanpa penambahan fresh air, pengeringan dengan penambahan fresh air sebesar 1 NI/menit, pengeringan dengan penambahan fresh air sebesar 2 NI/menit dan pengeringan dengan penambahan fresh air sebesar 3 NI/menit.

Terdapat 4 spesimen berupa labu kuning (*Cucurbita moschata*) yang dikeringkan pada penelitian ini dan dibagi menjadi spesimen 1, 2, 3 dan 4. Spesimen 1,2,3 dan 4 dikeringkan dan dicek massanya setiap 3 menit sekali dan spesimen 4 dicek temperatur dalam dan luarnya. Pada menit 9, 18 dan 27 maka spesimen 1,2 dan 3 dikeluarkan dari chamber sedangkan spesimen 4 akan berhenti dicek massa dan temperaturnya sampai penurunan massa telah mendekati konstan (penurunan massa 0.01 g).

Sebelum melakukan pengambilan data, spesimen dihitung kadar airnya dengan menggunakan moisture analyzer dan diperoleh kadar air sebesar 86.30%. Kadar air tersebut dihitung dengan menggunakan rumus kadar air berat basah yang dapat dilihat pada persamaan (2-1). Data hasil pengeringan akan diolah menggunakan Microsoft Office Excel untuk mendapatkan grafik yang sesuai.

4.1.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk menemukan nilai yang dibutuhkan yaitu kadar air dan laju pengeringan. Adapun perhitungan yang digunakan yaitu:

1. Kadar air (*Wet base moisture content*)

$$\text{Kadar air} = (\text{berat spesimen (g)} - \text{berat kering (g)}) / (\text{berat spesimen (g)}) \times 100 \%$$

$$\text{Kadar air} = (5,336 \text{ g} - 0,731 \text{ g}) / (5,336 \text{ g}) \times 100\%$$

$$\text{Kadar air} = 86,30 \%$$

2. Laju Pengeringan (*drying rate*)

$$\bar{V} = \frac{\Delta m}{t}$$

$$\bar{V} = \frac{5,336 \text{ g} - 4,884 \text{ g}}{3 \text{ menit}}$$

$$\bar{V}=0,151 \text{ g/menit}$$

3. Konversi Nl ke L

$$\frac{P1.V1}{T1} = \frac{P2.V2}{T2}$$

$$\frac{1,01325 \text{ bar.1 Nl}}{273 \text{ K}} = \frac{0.01192 \text{ bar.V2}}{300,5 \text{ K}}$$

$$V2 = 0,011 \text{ L}$$

$$1 \text{ Nl} = 0,011 \text{ L}$$

$$2 \text{ Nl} = 0,021 \text{ L}$$

$$3 \text{ Nl} = 0,032 \text{ L}$$

4.2 Data Hasil Perhitungan

Data spesimen setiap 3 menit sekali hingga mencapai penurunan massa mendekati konstan (0.01 g) untuk setiap variasi perlakuan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.1

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air Tanpa Penambahan *Fresh Air*

Waktu (Menit)	Massa (Gram)	Penurunan Massa (Gram)	Laju Pengeringan (Gram/Menit)	Temperatur		Kadar Air
				Luar (°C)	Dalam (°C)	
0	5.336	0.000	0.000	26.5	27.1	86.30
3	4.884	0.452	0.151	29	28.8	85.03
6	3.822	1.062	0.354	28.5	29.5	80.87
9	3.062	0.760	0.253	29	28.8	76.13
12	2.666	0.396	0.132	29.5	29	72.58
15	2.438	0.228	0.076	28.5	28.3	70.02
18	2.208	0.230	0.077	28.5	28.5	66.89
21	1.870	0.338	0.113	29	28.7	60.91
24	1.682	0.188	0.063	30	29.2	56.54
27	1.542	0.140	0.047	29	28.6	52.59
30	1.414	0.128	0.043	29.5	30	48.30
33	1.236	0.178	0.059	29.5	29.4	40.86
36	1.062	0.174	0.058	30.5	30.2	31.17
39	0.976	0.086	0.029	30	30.4	25.10
42	0.908	0.068	0.023	30.5	29.3	19.49
45	0.858	0.050	0.017	30	29.1	14.80
48	0.832	0.026	0.009	29.5	29.4	12.14
51	0.808	0.024	0.008	30	29.6	9.530
53	0.794	0.014	0.005	30.5	29.7	7.935

Tabel 4.2

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air dengan Penambahan *Fresh Air* sebesar 1 Nl/menit

Waktu (Menit)	Massa (Gram)	Penurunan Massa (Gram)	Laju Pengeringan (Gram/Menit)	Temperatur		Kadar Air
				Luar (°C)	Dalam (°C)	
0	6.748	0.000	0.000	27.5	28.3	89.86
3	5.800	0.948	0.316	30.5	30.6	88.21
6	5.522	0.278	0.093	28.5	29.1	87.61
9	4.862	0.660	0.220	30	31.1	85.93
12	4.436	0.426	0.142	29	29.6	84.58
15	3.810	0.626	0.209	29.5	29.6	82.05
18	3.506	0.304	0.101	30.5	29.4	80.49
21	2.578	0.928	0.309	30	30.2	73.47
24	2.220	0.358	0.119	29.5	28.8	69.19
27	1.860	0.360	0.120	29.5	30	63.23
30	1.608	0.252	0.084	29.5	29.6	57.46
33	1.480	0.128	0.043	28.5	28.8	53.78
36	1.384	0.096	0.032	28.5	28.8	50.58
39	1.310	0.074	0.025	29.5	28.1	47.79
42	1.202	0.108	0.036	28.5	28.6	43.09
45	1.158	0.044	0.015	29	29.3	40.93
48	1.090	0.068	0.023	28.5	28.2	37.25
51	1.028	0.062	0.021	30	28.8	33.46
54	0.978	0.050	0.017	29	28.6	30.06
57	0.960	0.018	0.006	30	28.3	28.75
60	0.926	0.034	0.011	28	28.6	26.13
63	0.896	0.030	0.010	29.5	29.1	23.66
66	0.854	0.042	0.014	29	28.9	19.91
69	0.836	0.018	0.006	28.6	27.5	18.18

Tabel 4.3

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air dengan Penambahan *Fresh Air* sebesar 2 Nl/menit

Waktu (Menit)	Massa (Gram)	Penurunan Massa (Gram)	Laju Pengeringan (Gram/Menit)	Temperatur		Kadar Air
				Luar (°C)	Dalam (°C)	
0	6.245	0.000	0.000	27	27.6	85.11
3	5.338	0.907	0.302	26	27.3	82.58
6	5.072	0.266	0.089	28	27.8	81.66
9	4.744	0.328	0.109	28	27.5	80.40
12	4.054	0.690	0.230	27	28	77.06
15	3.844	0.210	0.070	29.5	28.8	75.81
18	3.594	0.250	0.083	28	28.5	74.12
21	2.604	0.990	0.330	28	28.1	64.29
24	2.236	0.368	0.123	29	28	58.41
27	1.998	0.238	0.079	30	29.3	53.45
30	1.860	0.138	0.046	29.5	28.8	50.00
33	1.776	0.084	0.028	29.5	29.3	47.64
36	1.572	0.204	0.068	27	28	40.84
39	1.432	0.140	0.047	28.5	26.8	35.06
42	1.354	0.078	0.026	28.5	28	31.31
45	1.316	0.038	0.013	28.5	27.5	29.33
48	1.126	0.190	0.063	29	27.8	17.41
51	1.100	0.026	0.009	28.5	27.4	15.45
54	1.064	0.036	0.012	28	27.4	12.59
57	1.056	0.008	0.003	28	27.5	11.93
60	1.045	0.011	0.004	27.5	27.8	11.00

Tabel 4.4

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Temperatur Pengeringan dan Kadar Air dengan Penambahan *Fresh Air* sebesar 3 NI/menit

Waktu (Menit)	Massa (Gram)	Penurunan Massa (Gram)	Laju Pengeringan (Gram/Menit)	Temperatur		Kadar Air
				Luar (°C)	Dalam (°C)	
0	6.122	0.000	0.000	28.5	28.7	83.89
3	5.338	0.784	0.261	29.5	29.6	81.53
6	5.072	0.266	0.089	30	30.1	80.56
9	4.744	0.328	0.109	30.5	30.1	79.22
12	4.054	0.690	0.230	30.5	31.2	75.68
15	3.844	0.210	0.070	30.5	30.6	74.35
18	3.594	0.250	0.083	29.5	29.7	72.57
21	2.604	0.990	0.330	30.5	30.8	62.14
24	2.236	0.368	0.123	31	30.3	55.90
27	1.998	0.238	0.079	29	29.1	50.65
30	1.860	0.138	0.046	30.5	29.3	46.99
33	1.776	0.084	0.028	30	30.4	44.48
36	1.572	0.204	0.068	30.5	29.8	37.28
39	1.432	0.140	0.047	28	29.2	31.15
42	1.354	0.078	0.026	29.5	30.3	27.18
45	1.316	0.038	0.013	28.5	28.6	25.08
48	1.126	0.190	0.063	29.5	29.6	12.43
51	1.100	0.026	0.009	30.5	29.6	10.36
54	1.064	0.036	0.012	29.5	29.6	7.33
57	1.056	0.008	0.003	30	28.8	6.63

Tabel 4.5

Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu Tanpa Penambahan *Fresh Air*

Waktu	Distribusi Kadar Air (%)		
	Ujung 1	Tengah	Ujung 2
0	86.30	86.30	86.30
9	82.73	83.94	70.29
18	60.00	47.90	42.34
27	48.78	36.93	39.58
Akhir	9.040	8.040	6.790

Tabel 4.6

Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan *Fresh Air* sebesar 1 NI/menit

Waktu	Distribusi Kadar Air (%)		
	Ujung 1	Tengah	Ujung 2
0	88.58	88.58	88.58
9	86.75	81.34	87.49
18	82.56	74.19	79.25
27	60.28	54.47	57.74
Akhir	9.020	7.020	7.490

Tabel 4.7

Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan *Fresh Air* sebesar 2 NI/menit

Waktu	Distribusi Kadar Air (%)		
	Ujung 1	Tengah	Ujung 2
0	84.56	84.56	84.56
9	86.09	89.23	86.83
18	85.34	80.13	84.02
27	51.02	49.65	39.85
Akhir	7.980	8.900	6.280

Tabel 4.8

Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan *Fresh Air* sebesar 3 NI/menit

Waktu	Distribusi Kadar Air (%)		
	Ujung 1	Tengah	Ujung 2
0	84.06	84.06	84.06
9	82.39	80.75	79.891
18	74.38	73.91	71.429
27	45.27	41.84	36.250
Akhir	6.584	9.836	6.333

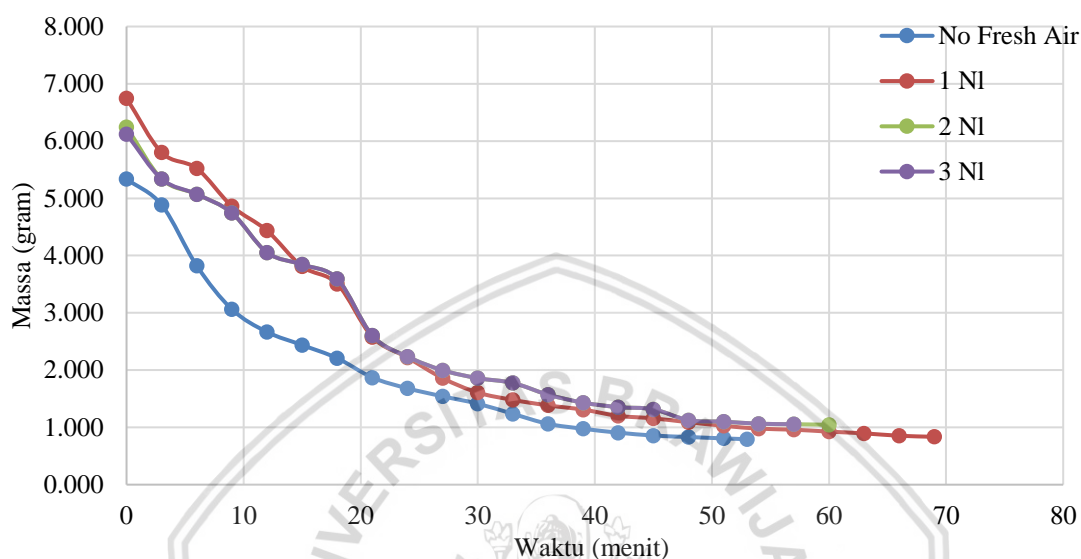
4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Analisis Hubungan Massa tiap Variasi terhadap Waktu

Gambar 4.1 adalah grafik yang menjelaskan tentang penurunan massa spesimen tiap menit. Pengurangan massa spesimen berbanding lurus dengan berkurangnya kadar air pada spesimen. Berdasarkan persamaan (2-1), pengurangan massa spesimen menandakan hilangnya kadar air yang terkandung di dalam spesimen.

Pengurangan massa spesimen dari berbagai variasi penambahan *fresh air* dan tanpa penambahan *fresh air* dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pengeringan menggunakan *microwave vacuum drying* dilakukan hingga penurunan massa pada setiap variasi mencapai kecenderungan konstan. Hal ini dikarenakan sudah tidak adanya molekul air bebas yang dapat berdifusi keluar dan menguap. Pada penambahan *fresh air* 3 NI/menit memiliki waktu pengeringan yang lebih singkat dibandingkan 2 NI/menit dan 1 NI/menit. Pada penambahan *fresh air* 1 NI/menit mencapai waktu pengeringan selama 69 menit, pada penambahan *fresh air* 2 NI/menit mencapai waktu pengeringan selama 60 menit, sedangkan pada penambahan *fresh air* 3 NI/menit hanya memerlukan waktu selama 57 menit. Selain itu pada penambahan *fresh air* 3 NI/menit mempunyai rata-rata pengurangan massa spesimen paling besar diantara yang lainnya yaitu sebesar 0,253 g. Sedangkan pada penambahan *fresh air* 1 NI/menit, 2 NI/menit dan tanpa penambahan *fresh air* sebesar 0.246, 0.248 dan 0.239 g.

Hal ini dikarenakan semakin banyak *fresh air* yaitu udara kering yang masuk ke dalam *chamber* pengering, maka kejenuhan akibat penguapan uap air yang ada di dalam *chamber* pengering menjadi semakin berkurang. *Fresh air* akan membilas uap air jenuh dikarenakan *fresh air* merupakan udara kering yang dapat mendorong keluar udara jenuh di dalam *chamber* pengering.



Gambar 4.1 Hubungan massa tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa penambahan *fresh air*, penambahan *fresh air* 1 NI/menit, penambahan *fresh air* 2 NI/menit dan penambahan *fresh air* 3 NI/menit

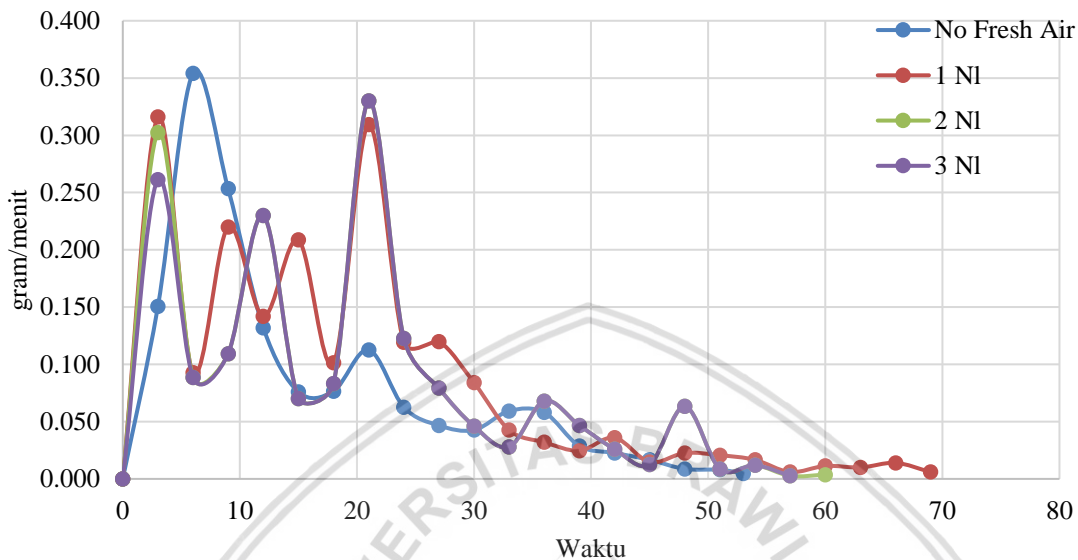
4.3.2 Analisis Hubungan Laju Pengeringan tiap Variasi terhadap Waktu

Berdasarkan persamaan (2-2), laju pengeringan adalah banyaknya massa yang diuapkan tiap satuan waktu. Tingginya laju pengeringan menunjukkan besar jumlah air yang dikeringkan pada suatu spesimen.

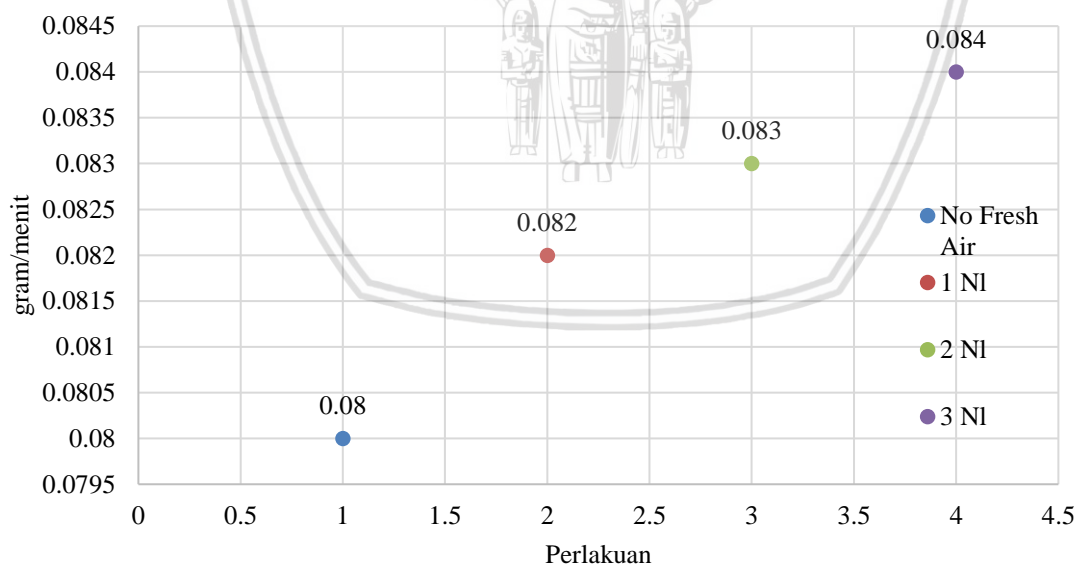
Gambar 4.2 membahas mengenai laju pengeringan *microwave vacuum drying* pada berbagai variasi penambahan *fresh air* dan tanpa penambahan *fresh air*. Pada awal pengeringan variasi dengan penambahan variasi *fresh air* 1 NI/menit memiliki laju pengeringan lebih tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Tetapi, pada menit ke-21 hingga akhir pengeringan, variasi *fresh air* 3 NI/menit memiliki laju pengeringan yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya.

Laju pengeringan pada menit-menit akhir memiliki kecenderungan konstan dibandingkan pada menit-menit awal proses pengeringan. Hal ini dikarenakan semakin berkurangnya massa mengakibatkan perbedaan yang semakin kecil terhadap konsentrasi yang ada di lingkungan dan spesimen sehingga laju pengeringan semakin rendah karena perpindahan massa yang terjadi semakin kecil.

Pemancaran gelombang mikro pada *microwave* tidak terjadi secara kontinyu yang mengakibatkan jumlah penurunan massa spesimen yang tidak stabil. Penurunan massa yang tidak stabil mengakibatkan laju pengeringan cenderung tidak turun secara konstan yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hubungan laju pengeringan tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa penambahan *fresh air*, penambahan *fresh air* 1 NI/menit, penambahan *fresh air* 2 NI/menit dan penambahan *fresh air* 3 NI/menit



Gambar 4.3 Rata-rata laju pengeringan pada beda variasi (1) tanpa penambahan *fresh air*, (2) penambahan *fresh air* 1 NI/menit, (3) penambahan *fresh air* 2 NI/menit dan (4) penambahan *fresh air* 3 NI/menit

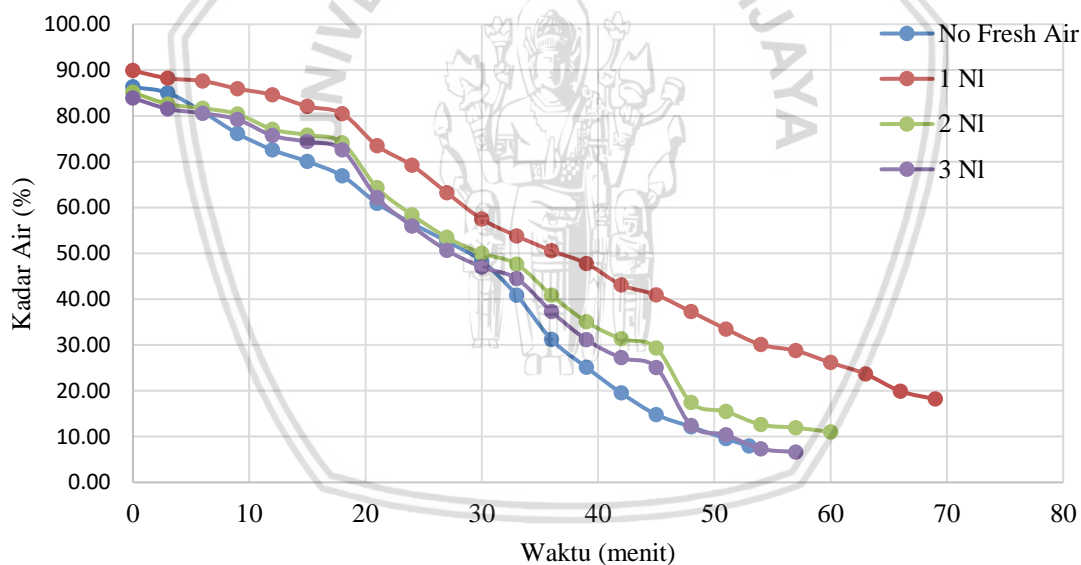
Rata-rata laju pengeringan tertinggi terjadi pada variasi penambahan *fresh air* sebesar 3 NI/menit. Sedangkan rata-rata laju pengeringan terendah terjadi pada variasi tanpa

penambahan *fresh air*. Hal ini dikarenakan pada variasi penambahan *fresh air* 3 NI/menit udara jenuh di dalam *chamber* pengering akan terdesak keluar oleh *fresh air* sehingga laju pengeringan akan menjadi lebih cepat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.3.

4.3.3 Analisis Hubungan Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu

Persamaan (2-1) menjelaskan bahwa, seiring dengan berkurangnya massa spesimen maka banyaknya kandungan air yang terkandung dalam spesimen juga ikut berkurang. Hal ini menandakan bahwa massa berbanding lurus dengan jumlah kadar air pada suatu spesimen.

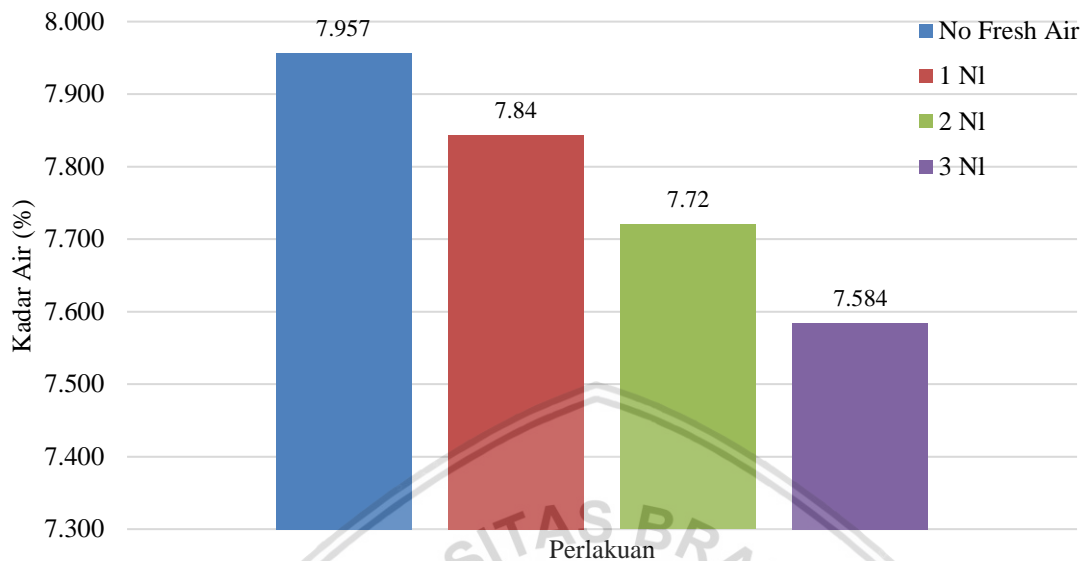
Terdapat penurunan kadar air pada spesimen masing-masing variasi penambahan *fresh air* dan tanpa penambahan *fresh air*. Pada menit pertama hingga menit ke-33 penurunan kadar air pada setiap variasi cenderung sama. Tetapi pada waktu selanjutnya, penurunan kadar air mengalami perbedaan pada tiap variasi. Hal ini dijelaskan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hubungan kadar air tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa penambahan *fresh air*, penambahan *fresh air* 1 NI/menit, penambahan *fresh air* 2 NI/menit dan penambahan *fresh air* 3 NI/menit

Dengan penambahan *fresh air* 3 NI/menit, spesimen yang dikeringkan memiliki kadar air akhir yang paling rendah yaitu 7,584%. Pada penambahan *fresh air* 1 NI/menit memiliki kadar air akhir 7,840%, pada penambahan *fresh air* 2 NI/menit memiliki kadar air akhir 7,720% dan tanpa penambahan *fresh air* 7.957%, yang dapat dilihat pada Gambar 4.5. Hal ini disebabkan penambahan *fresh air* 3 NI/menit meningkatkan laju pengeringan karena udara jenuh didalam *chamber* pengering semakin sedikit, hal ini dir massa

spesimen mengalami penurunan yang tinggi mengakibatkan jumlah kadar air yang dikurangi juga semakin tinggi.



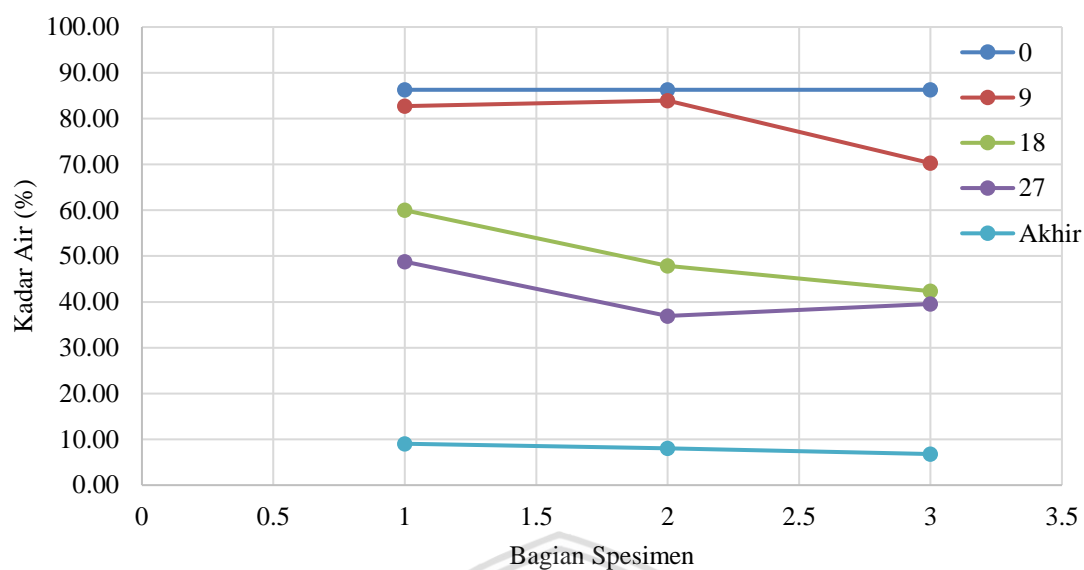
Gambar 4.5 Rata-rata kadar air akhir pada beda variasi tanpa penambahan *fresh air*, penambahan *fresh air* 1 NI/menit, penambahan *fresh air* 2 NI/menit dan penambahan *fresh air* 3 NI/menit

4.3.4 Analisis Hubungan Distribusi Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu

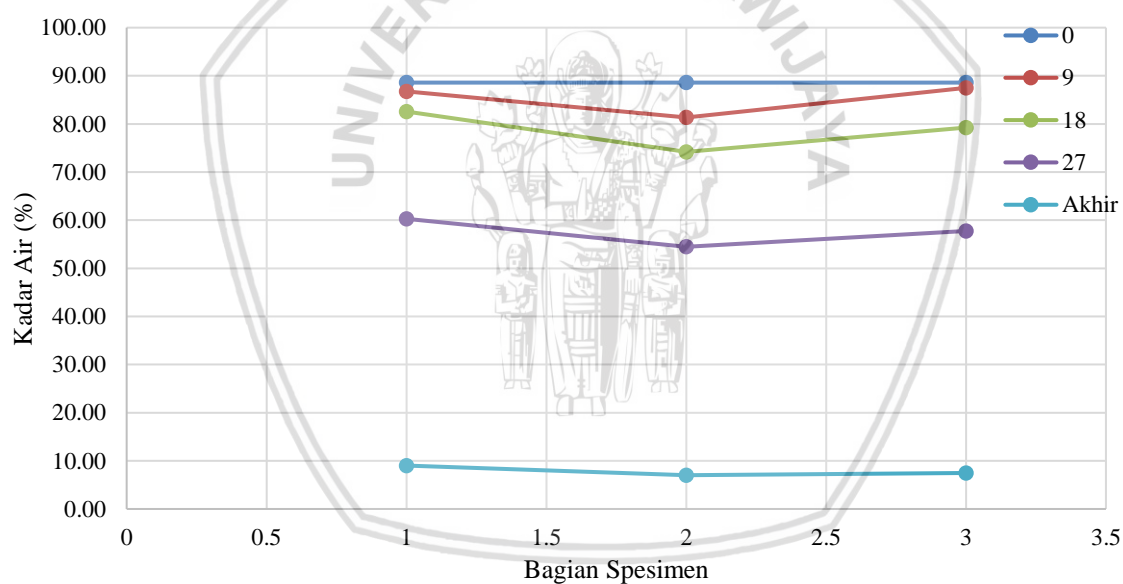
Gambar 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 membahas mengenai distribusi kadar air setiap menitnya. Nomor 1,2 dan 3 adalah bagian dari spesimen yang telah dipotong menjadi 3 bagian. Bagian permukaan spesimen ditunjukkan nomor 1 dan 3, sedangkan bagian tengah spesimen ditunjukkan nomor 2.

Pada pengeringan dengan penambahan *fresh air* dan tanpa penambahan *fresh air* daya yang digunakan pada *microwave* diatur pada daya 40Watt yang mengakibatkan intensitas dari gelombang mikro untuk melakukan proses pengeringan spesimen tidak terlalu merata karena daya sebesar itu dirasa kurang mampu menguapkan air secara merata yang menyebabkan distribusi kadar air menjadi tidak rata.

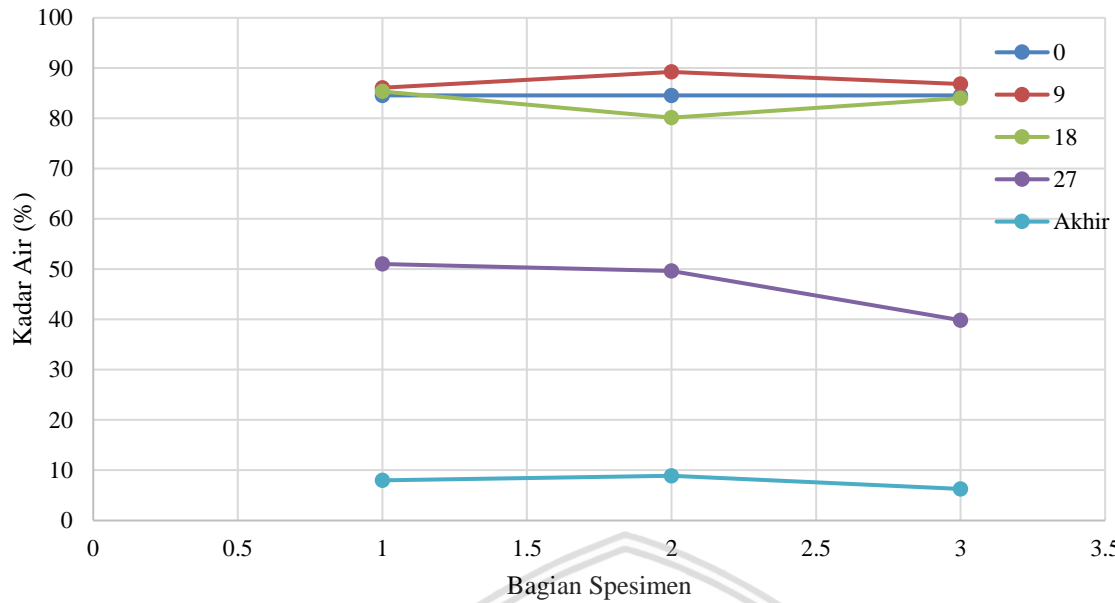
Gelombang mikro dapat menembus spesimen yang menyebabkan proses pengeringan akan dimulai dari bagian dalam menuju ke permukaan spesimen yang mengakibatkan terdorongnya molekul air dari dalam menuju ke permukaan spesimen. Berdasarkan grafik rata-rata setiap variasi menunjukkan hasil kadar air yang lebih sedikit pada bagian tengah. Apabila terdapat kadar air yang lebih banyak di bagian tengah itu dikarenakan bagian permukaan telah mengalami pengerutan akibat pengeringan yang terlalu cepat sehingga air terjebak di dalam spesimen sehingga sulit keluar menuju permukaan.



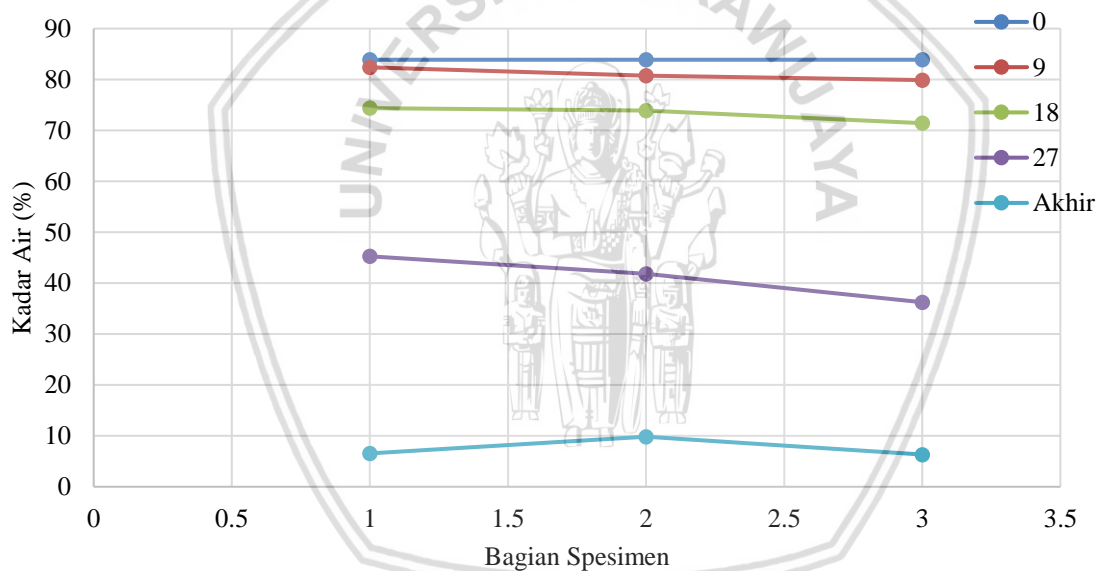
Gambar 4.6 Hubungan distribusi kadar air pada daerah pengujian pada variasi tanpa penambahan *fresh air*



Gambar 4.7 Hubungan distribusi kadar air pada daerah pengujian pada variasi penambahan *fresh air* 1 NI/menit



Gambar 4.8 Hubungan distribusi kadar air pada daerah pengujian pada variasi penambahan *fresh air* 2 NL/menit

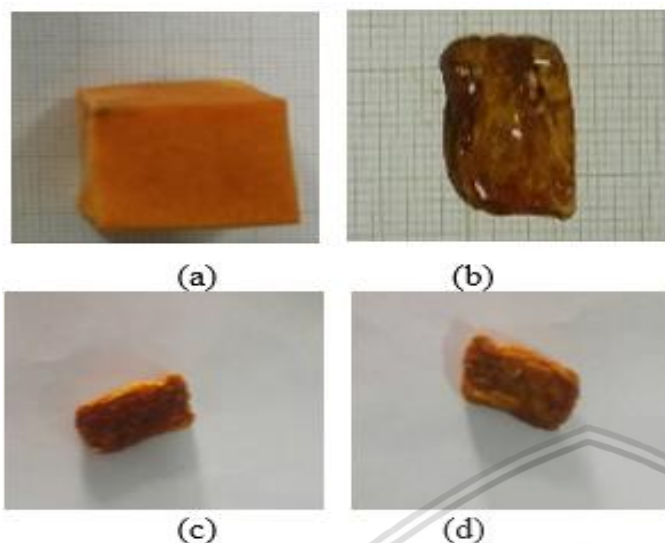


Gambar 4.9 Hubungan distribusi kadar air pada daerah pengujian pada variasi penambahan *fresh air* 3 NL/menit

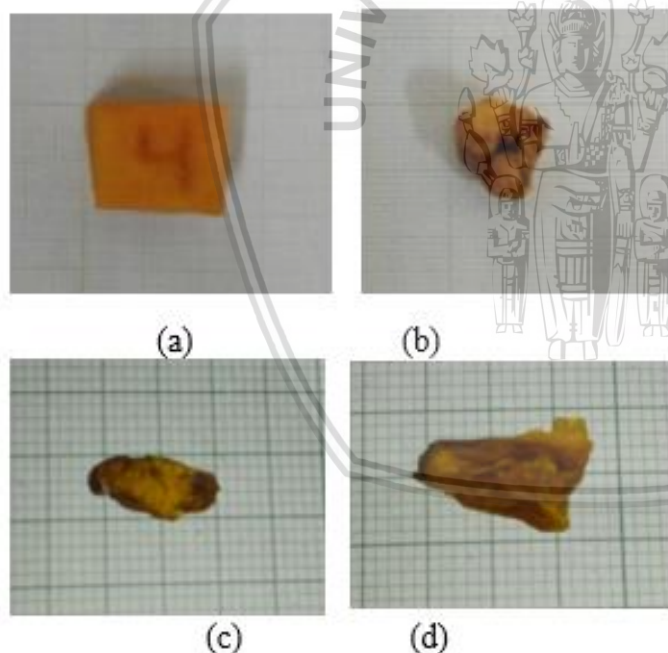
4.3.5 Perbandingan Ukuran dan Warna Spesimen Hasil Pengeringan tiap Variasi

Penyusutan serta perubahan warna yang terjadi antara spesimen sebelum dan setelah dikeringkan dapat dilihat pada Gambar 4.10, 4.11, 4.12 dan 4.13. Berdasarkan gambar-gambar tersebut, menunjukkan bahwa penyusutan volume terbesar terjadi pada spesimen dengan penambahan *fresh air* 3 NL/menit. Hal ini dikarenakan pada penambahan *fresh air* 3 NL/menit mempunyai laju pengeringan yang cepat sehingga transfer massa berlangsung lebih cepat. Melalui perubahan warna yang terjadi, spesimen dengan penambahan *fresh air* 3 NL/menit mendapatkan hasil yang lebih baik dari spesimen dengan variasi penambahan

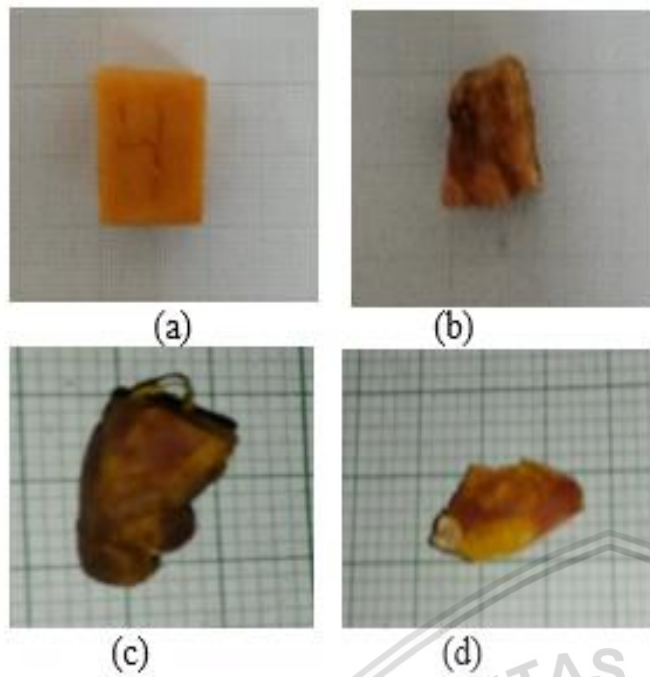
fresh air 1 NI/menit, 2 NI/menit dan tanpa penambahan *fresh air*. Hal ini dibuktikan dengan warna yang jauh lebih terjaga.



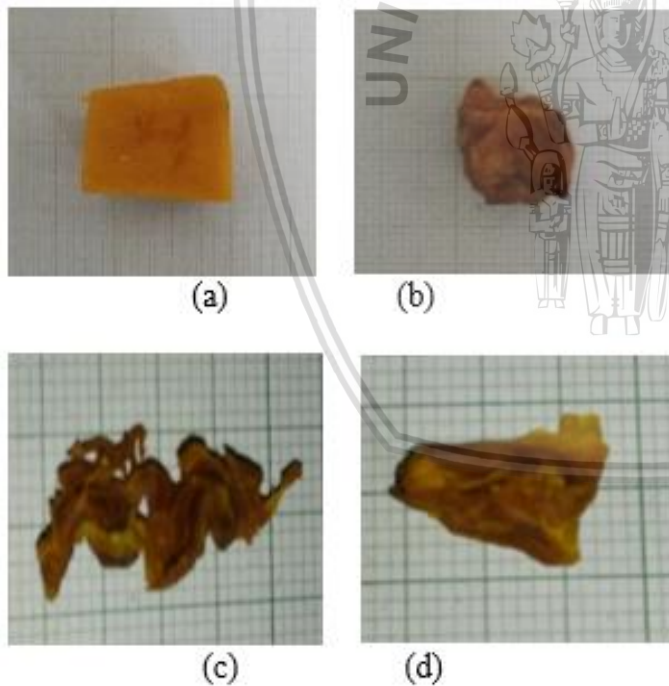
Gambar 4.10 Ukuran dan warna spesimen pada variasi tanpa penambahan *fresh air*, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan



Gambar 4.11 Ukuran dan warna spesimen pada variasi penambahan *fresh air* 1 NI/menit, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan



Gambar 4.12 Ukuran dan warna spesimen pada variasi penambahan *fresh air* 2 NI/menit, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan



Gambar 4.13 Ukuran dan warna spesimen pada variasi penambahan *fresh air* 3 NI/menit, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Semakin meningkatnya penambahan *fresh air* pada *microwave vacuum drying* maka akan meningkatkan penurunan massa spesimen labu kuning. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya *fresh air* yang masuk ke dalam *chamber* pengering, maka dapat menurunkan tingkat kejenuhan udara.
2. Kadar air akhir pengeringan paling rendah adalah pada variasi pengeringan dengan penambahan *fresh air* 3 NI/menit dan kadar air akhir yang paling tinggi adalah pada variasi pengeringan tanpa penambahan *fresh air*. Hal ini dikarenakan pada variasi pengeringan dengan penambahan *fresh air* 3 NI/menit memiliki rata-rata penurunan massa yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya.
3. Semakin besar peningkatan *fresh air* maka laju pengeringan spesimen akan semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan waktu pengeringan yang semakin singkat pada variasi pengeringan dengan penambahan *fresh air* 3 NI/menit dibandingkan dengan variasi pengeringan dengan penambahan *fresh air* 1 NI/menit dan 2 NI/menit. Selain itu peningkatan debit aliran *fresh air* maka dapat menurunkan tingkat kejenuhan udara akibat penguapan air yang ada dalam *chamber* pengering sehingga dapat meningkatkan laju perpindahan massa dari dalam spesimen ke permukaan kemudian menuju *chamber* pengering.
4. Penggunaan daya sebesar 40 Watt dirasa masih kurang untuk proses pengeringan karena intensitas dari gelombang mikro untuk menguapkan air dalam spesimen secara merata tergolong kecil yang menyebabkan distribusi kadar air menjadi tidak rata.

5.2 Saran

1. Diharapkan penelitian selanjutnya menggunakan metode yang dapat memancarkan gelombang mikro secara merata agar hasil pengeringan menjadi lebih baik.
2. Diharapkan penelitian selanjutnya penambahan *fresh air* pada proses pengeringan dapat lebih baik lagi agar menghasilkan hasil pengeringan spesimen yang maksimal.
3. Diharapkan penelitian selanjutnya menggunakan metode yang lebih baik dalam membuat *vacuum chamber* untuk menghindari terjadinya kebocoran.



DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, M.R. 2017. Analisis karakteristik dan kualitas pengeringan dengan metode ultrasonik *chill drying*. Skripsi. Malang : Universitas Brawijaya.
- Cengel, Yunus. A. (2006). *Thermodynamic An Engineering Approach*. McGraw- Hill, Inc.
- Chang, Raymond. 2005. Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Direktorat Gizi Depkes RI. 1981. Daftar Komposisi Bahan Makanan. Jakarta : Gratar Karya Aksara.
- Estiasih, T., dan K. Ahmadi. 2011. *Teknologi Pengolahan Pangan*. Malang : Bumi Aksara.
- Hasibuan, R. 2005. Proses Pengeringan. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Hendrasty, H.K. 2003. *Tepung Labu Kuning Pembuatan dan Pemanfaatannya*. Yogyakarta : Kanisius.
- Labuza TP. (1982). *Shelf Life Dating of Foods*. Westport Connecticut: Food and Nutrition Press Inc.
- Muarif. 2013. *Rancang Bangun Alat Pengering*. www.digilibspolsri.ac.id. (6 Januari 2018)
- Mujumdar, A.S. 2015 *Handbook of Industrial Drying 4th Edition*. CRC Press : Boca Raton.
- Palupi, N.S., F.R Zakaria., dan E Prangdimurti. 2007. *Pengaruh Pengolahan terhadap Nilai Gizi Pangan*. Modul e-Learning ENBP, Departemen Ilmu & Teknologi-Fateta-IPB.
- Rachmadiarti. 2007. Biologi Umum. Surabaya: Unesa University Press.
- Rachmawan, O. 2001. *Pengeringan, Pendinginan dan Pengemasan Komoditas Pertanian*. Depdiknas. Jakarta.
- Ripi, V.I. 2011. Pembuatan dan Analisis Kandungan Gizi Tepung Labu Kuning (*Cucurbita moschata*). Skripsi. Yogyakarta : Universitas Pembangunan Nasional.
- Simanjuntak, W. 2017. *Pengaruh Penambahan Fresh Air Terhadap Karakteristik Pengeringan Dengan Ultrasonik Chill Drying*. Thesis. Malang : Universitas Brawijaya.
- Suprpti, L. 2005. Kuaci dan Manisan Waluh. Yogyakarta : Kanisius.
- Surdia dan Chijiwa. 2000. Teknologi Pengecoran Logam. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Suryadi. 2011. Difusi osmosis. Bandung : Universitas Padjajaran.
- Tanaka M. 2007. *Microwave heating of water, ice, and saline solution: molecular dynamics study*, Jepang.
- Treybal. 1981. *Mass Transfer Operation 3rd edition*. Mc Graw Hill, Inc. New York.

Victor L. Streeter, E. B. W. 1995. Mekanika Fluida Jilid 2. Jakarta : Erlangga.

Waziroh, E., Dego, Y.A., Nur, I. 2017. Proses Termal pada Pengolahan Pangan. UB Media : Malang.

